土木学会関西支部 共同研究グループ

「老朽化、および更生した 下水道管きょの耐震設計法に 関する研究」

平成 28 年度報告書

大阪市域の下水道管きょは老朽化が急速に進んでおり、法定耐用年数である布設後 50 年を経過した 管きょが総延長 4800 km のうちのおよそ 3 割を占める。そのため、老朽管きょの耐震性確保が最重要課 題となっており、更生工法による改築更新が鋭意、実施されている。

一方、日本下水道協会では、東日本大震災を契機として、設計指針である「下水道施設耐震対策指針 と解説」(1997, 2006)を見直して 2014 年に改訂版を発行し、さらに設計マニュアルである「下水道施設 耐震計算例(管路施設編)」(2001)を 2015 年に改訂した。一般に下水道管きょは、水道管、ガス管、共 同溝などの線状地中構造物に比べて、管材質、形状、口径、埋設深さ、施工法が多種多様であるところ に特徴があり、改訂された設計指針(2014)と設計マニュアル(2015)でも対象とする管種は、円形管、ボッ クスカルバート、シールド管きょを含めて 11 種類に上っている。

ところが、この改訂された設計指針(2014)と設計マニュアル(2015)は、旧指針(1997, 2006)・旧設計マ ニュアル(2001)と同様に、土と構造物の相互作用をバネモデルで表す応答変位法を採用しているため、 実際とは定性的に異なる管きょの地震時挙動を予測すると推定されること、必ずしも老朽管きょを対象 としたものではないこと、大阪市で幹線管きょとして用いられてきた馬蹄形管きょが対象外とされてい ること、ならびに更生した管きょを対象としていないことなどから、大阪市のように老朽化の比率が高 い大都市の下水道管きょに対する適用性は未解明な部分が残っている。

そこで、老朽化した下水道管きょ、ならびに更生した下水道管きょの断面方向の耐震性の予測手法に 関して調査研究を行うことを目的として、土木学会関西支部共同研究グループ「老朽化、および更生し た下水道管きょの耐震設計法に関する研究」を組織した。本共同研究グループのテーマは、共同研究グ ループ設置の目的として記載されている3テーマのうちの「産官学の共同研究テーマ」に該当するもの であり、官からは大阪市の下水道担当者がメンバーとして参加し、当調査研究事項に関して、大阪市の 現状や抱えている問題点、課題解決の方向性を報告し、産官学が共同して大阪市の老朽管きょ対策、と りわけ耐震化対策の課題解決のための議論を行った。

平成 27 年度は、上記の目的を達成するため、健全な管きょを扱っている改訂設計指針(2014)と設計マニュアル(2015)を対象として以下の研究を行った。

- 下水道管きょの耐震設計法の問題点を整理した。
- 遠心実験の解析に用いた FEM 解析手法に対して、設計に適用するための改良を施した。
- 設計マニュアル(2015)に記載された健全な管きょのうちの鉄筋コンクリート管(RC 管)と強化プラス チック複合管(FRPM 管)の土圧・変形挙動と FEM 解析による予測を比較した。

平成28年度は、昨年度に引き続き、以下の研究を行った。

- 昨年度開発した FEM 解析手法に対して、管面の開口処理に関する改良を施した。
- 設計マニュアル(2015)に記載された健全な管きょのうちの現場打ちボックスカルバートとシールド セグメントの土圧・変形挙動と FEM 解析による予測を比較した。
- 老朽化した既設 RC 管とこれを更生した管きょの地震時挙動を FEM 解析によって検討した。
- 設計マニュアル(2015)に記載されたモデル地盤について重複反射法に基づく応答解析を実施し、地 震時の地盤変形と動的地盤定数の相違が健全な RC 管とボックスカルバートの土圧・変形挙動に及

ぼす影響を調べた。

なお、本報告書では、改訂設計指針と改訂設計マニュアルを含めて「現行設計法」と呼ぶことにする。

最後に、本研究グループの活動に積極的に参加されたメンバーの皆様、特に研究会の運営にご苦労を 頂いた幹事の皆様には深く感謝の意を表するものである。

土木学会関西支部共同研究グループ

「老朽化、および更生した下水道管きょの耐震設計法に関する研究」

代表 東田 淳

- 1. 研究グループの活動報告
 - 1.1 活動成果
 - 1.2 構成員
 - 1.3 研究会と幹事会の議題
 - (1) 幹事会(H28.4.26)
 - (2) 第5回研究会(H28.5.6)
 - (3) 幹事会(H28.6.11)
 - (4) 第6回研究会(H28.7.12)
 - (5) 幹事会(H28.9.8)
 - (6) 第7回研究会(H28.9.28)
 - (7) 幹事会(H28.10.22)
 - (8) 第8回研究会(H28.10.25)
 - (9) 幹事会(H28.11.29)
 - (10)第9回研究会(H28.12.16)
 - (11)幹事会(H29.1.30)
 - (12)幹事会(H29.4.20)
 - (13) ワークショップ(H29.5.27)
- 2. 現行耐震設計法の地震時増分土圧の検討
 - 2.1 微分方程式の解による検討
 - 2.2 フレーム計算による検討
 - (1) 相対変位による設計土圧
 - (2) 周面せん断力による設計土圧
- 3. 提案設計法の改良点
 - 3.1 管きょに作用する土圧の平滑化
 - (1) 土圧の平滑化の必要性
 - (2) 平滑化の方法
 - (3) 遠心実験による検証
 - 3.2 管面の開口の処理
 - (1) 開口の処理の必要性
 - (2) 引張り領域の解消方法
 - (3) 計算結果
- 4. 提案設計法と現行設計法の比較(健全な管きょの場合)
 - 4.1 現場打ちボックスカルバート
 - (1) 解析モデル
 - (2) 基床厚 H の違いと水圧による常時外力の変化
 - (3) 解析結果
 - (4) 現行設計法による予測との比較
 - 4.2 シールド管きょ
 - (1) 解析モデル

- (2) 解析結果
- (3) 現行設計法による予測
- (4) 解析結果と現行設計法との比較
- (5) 応力照査の結果
- (6) 常時の FEM 解析条件の検討
- (7) 考察
- 5. 老朽管きょおよび更生した管きょの地震時挙動
 - 5.1 地震時挙動解析モデル
 - 5.2 老朽管きょの地震時挙動
 - (1) 老朽管きょの解析モデル
 - (2) 解析結果
 - 5.3 更生した管きょの地震時挙動
 - (1) 更生した管きょの解析モデル
 - (2) 解析結果
 - 5.4 考察
- 6. 地震による地盤変位と地盤剛性の不均一性の影響
 - 6.1 応答解析による地盤変位と地盤定数の算定
 - (1) 解析手法
 - (2) 応答解析の結果
 - 6.2 健全な RC 管とボックスカルバートの地震時挙動
 - (1) 解析条件
 - (2) RC 管の解析結果
 - (3) ボックスカルバートのの解析結果
 - (4) 地盤変形と地盤剛性の影響
- 7. 研究成果のまとめと残る課題
- 付録1 研究会·幹事会 議事録
- 付録2 シールド作用土圧文献目録
- 付録3 学会投稿論文集

1. 研究グループの活動報告

1.1 活動成果

研究会を5回、幹事会を6回、WSを1回開催し、以下の成果を得た。

- ① 現行設計法の地震時増分土圧について検討し、以下を指摘した。
 - ・ 現行設計法では、地震時増分土圧は地盤の相対変位 δ_g と周面せん断力 τ_g の両者によって生じる ものと仮定され、設計マニュアルには $k\delta_g \geq \tau_g$ の値が地盤ばねに支えられた管きょに作用する 土圧として示されている。kは地盤のばね定数である。
 - ・ 現行耐震設計法の管きょ表面に働く地震時増分土圧 p は、 $p_1 = k(\delta_g \delta_{p1})$ 、 $p_2 = \tau_g k \delta_{p2}$ 、 $p = p_1 + p_2 = k(\delta_g \delta_{p1} \delta_{p2}) + \tau_g = k(\delta_g \delta_p) + \tau_g$ として算定するのが正しい。ここに、 $p_1 \ge p_2$ はそれぞ $n \delta_g \ge \tau_g$ に起因する管きょ表面に働く土圧、 $\delta_{p1} \ge \delta_{p2}$ はそれぞれ $\delta_g \ge \tau_g$ によって生じる管きょ の変位、 $\delta_p = \delta_{p1} + \delta_{p2}$ である。
 - ・ よって、実験や解析で得られた地震時増分土圧(=管きょに直接作用する土圧)と比較すべき設計土圧は、設計マニュアルに示された $k\delta_g や \tau_g$ ではなく、 $p=p_1+p_2$ であることに注意が必要である。
- ② 現行設計法(設計マニュアル)に示された現場打ちボックスカルバートの荷重と断面力について、弾
 性 FEM に基づく提案設計法と現行設計法による予測を比較し、以下の結果を得た。
 - ・ 地震時に管きょが横倒れするようなせん断変形モードは、現行・提案両設計法で一致しているが、現行設計法ではこの変形を引き起こす主因が管きょ表面に働くであると仮定しているのに対して、提案設計法では実験事実に基づいた完全滑動条件(r=0)の条件で地震時に同様な変形を生じている。
 - ・ 曲げモーメントに対する断面照査によれば、提案設計法による r_iM_d/M_{ud}(r_i: 構造物係数(=1)、 M_d: 矩形きょに生じる曲げモーメント、M_{ud}: 設計曲げ耐力)の最大値は現行設計法の最大値よ りも 1.45 倍ほど大きかった。
- ③ 現行設計法(改訂設計マニュアル)に示された鋼製およびコンクリート系シールドセグメントの荷重 と断面力について、弾性 FEM 解析と現行設計法による予測を比較し、以下の結果を得た。
 - ・ 常時荷重は FEM 解析の結果と現行設計法による予測で大きく異なるため、FEM 解析の M_{max} は現行設計法の M_{max} に比べ、両セグメントとも極めて大きくなった。
 - ・ 地震時増分土圧は、FEM 解析のせん断土圧 たがゼロなのに対して、現行設計法では垂直土圧 σ よりもせん断土圧 たの方が大きくなっており、両者は定性的に大きく異なった。
 - ・ 常時の *M*_{max}の相違が反映されて、地震時の FEM 解析による *M*_{max}は現行設計法の *M*_{max}に比べ、 鋼製セグメントで 4.5 倍、コンクリート系セグメントで 2.4 倍となった。
 - FEM 解析によって得られた両セグメントの常時荷重には、実際のセグメントの挙動についてま だ考慮できていない事柄、あるいは検討が不十分な事象が存在しているものと考えられた。
 - 一方、地震時増分の FEM 解析の結果は、埋設管きょの地震時挙動をシミュレートした遠心実験との整合性が確認されているので、問題のある応答変位法を用いた現行設計法の予測に対して優位性を持つと結論された。

- ④ 老朽化および更生した管きょの地震時挙動について FEM 解析により検討を加え、以下の結果を得た。
 - 既設管きょの老朽レベルが L (管頂、管底、管側に微少クラックが発生しているが、鉄筋は破 断していないレベル)の場合、老朽管きょと更生管きょのたわみ量、土圧、変形は良く似ていた が、既設管きょの老朽レベルがさらに上がるのにつれて、老朽管きょと更生管きょのたわみ量、 土圧、変形に違いが生じた。
 - 既設管きょの老朽レベルがLを超える場合、更生管きょの最大たわみ量が常時、地震時とも老 朽既設管きょよりも小さくなったことは、更生による耐荷力の向上を定性的に表すと考えられた。
- ⑤ 応答解析によって求めた地震時の地盤変形と地盤剛性の不均一性の影響を調べ、以下の結果を得た。
 - ・ 管周囲の地盤の剛性が地震動によって一様に低下する RC 管のケースでは、地震時に生じる埋 設位置の地盤の相対変位量が大きいにも拘わらず、現行耐震設計法が仮定する一次モードの地 盤変形と均一な地盤剛性の条件とほぼ同じ断面力を生じる結果となった。
 - ・ 地震動による剛性の低下度合いが異なる地盤を跨いで埋設されるボックスカルバートのケースでは、現行耐震設計法が仮定する一次モードの地盤変形と均一な地盤剛性の条件は管きょに生じる断面力を過小評価する結果となった。
 - したがって、今回のボックスカルバートのケースのように、剛性の異なる地盤を跨いで埋設される重要管きょでは、今回の解析結果を参考にして、より実態に即した慎重な耐震設計を実施すべきであると結論した。
- 1.2 構成員

表-1に構成員名簿を示す。

	氏名	所属
代表	東田 淳	大阪市立大学客員教授 Buried Pipe Research Center
幹事	吉村 洋	(独)国立高等専門学校機構
		阿南工業高等専門学校 創造技術工学科 建設コース
幹事	井上 裕司	中央復建コンサルタンツ(株) 構造系部門 保全再生グループ
幹事	三品 文雄	日本ジッコウ株式会社 技術研究所
		エースコンサルタント株式会社
	小高 康生	中央復建コンサルタンツ(株)
		総合技術本部 技術マネジメントグループ
	寒竹 英貴	中央復建コンサルタンツ(株) 道路系部門 トンネルグループ
	矢野 博彦	積水化学工業株式会社 環境・ライフラインカンパニー 西日本支店 バリュ
		ーチェーン推進室
	日野林 譲二	大日本プラスチックス株式会社 開発部

	高塚 義則	鹿島建設㈱関西支店 高槻インターチェンジ工事事務所
	谷川 伸一	クボタシーアイ株式会社 開発部 開発第二グループ
幹事	島津多賀夫	(株) アサノ大成基礎エンジニアリング
	丸吉 克典	日本ハウエル株式会社 技術グループ
大阪市 連絡先	大杉 朗隆	大阪市建設局 下水道河川部 調整課
幹事	今井 一彦	(株)建設技術研究所 東京本社 下水道部
幹事	山本 和広	中央復建コンサルタンツ(株) 道路系部門 道路第一グループ

1.3 研究会・幹事会の議題 (議事録は付録 1 参照)

(1) 第5回研究会

- 日 時: 平成 28 年 5 月 6 日 (月) 13:00~18:00
- 場 所:土木学会関西支部
- 議事:
 - 1. 代表挨拶(東田委員長)
 - 2. 議事録確認と経過説明
 - ・議事録確認(吉村委員・井上委員)
 - ・管路更生工法検討調査専門委員会の経過と下水道分野における国土交通大臣登録 資格の説明(三品委員)
 - 3. 東田代表の報告(東田委員長)
 - ・ワークショップ案内
 - ・土木学会への論文投稿
 - ・シールドの解析とヒアリングの結果報告
 - 4. RC管の地震時垂直土圧σの引張り解消に関する検討(島津委員)
 - 5. 更生管の地震時挙動解析(吉村委員)
 - 6. その他 (東田委員長)
- (2) 幹事会(H. 28. 6. 11)
 - 日 時: 平成 28 年 6 月 11 日 (土) 16:00~17:00
 - 場 所:立命館大学びわこ・くさつキャンパス
 - 議事:
 - 1. RC管の開口(島津委員)
 - 2. シールド解析と文献調査まとめ(東田委員長)
 - 3. 更生管の解析について

- 4. 研究助成について(東田委員長)
- 5. 今後の予定

(3) 第6回研究会

- 日 時: 平成 28 年 7 月 12 日 (火) 13:30~18:00
- 場 所:土木学会関西支部
- 議事:
 - 1. 代表挨拶(東田委員長)
 - 2. 新委員紹介(山本委員)
 - 3. 議事録確認と経過説明
 - ・議事録確認(井上委員)
 - · 経過説明(三品委員)
 - 研究助成の説明(東田委員長)
 - 4. シールドセグメントの常時土圧に関する文献調査(東田委員長)
 - 5. FEM解析の結果報告
 - RC管の地震時土圧の引張領域の解消(島津委員)
 - ・ボックスカルバートの解析結果報告(島津委員)
 - 6. 既設管と更生管の地震時挙動解析(吉村委員)
 - 7. その他

(4) 幹事会(H. 28. 9. 8)

日 時:平成28年9月8日(木)17:30~19:30 場 所:アサノ大成基礎エンジニアリング東北支社 議事:

- 1. 第7回研究会議事次第(案)と下水道振興基金研究助成交付申請書について(東田委員)
- 2. シールドセグメントのFEM解析結果(島津委員)
- 3. 動的解析について(島津委員)
- 4. 今後の予定

(5) 第7回研究会

- 日 時: 平成 28 年 9 月 23 日 (金) 13:00~18:00
- 場 所:土木学会関西支部
- 議 事:
 - 1. 代表挨拶(東田委員長)
 - 2. 議事録確認と経過説明
 - ·議事録確認(井上委員)
 - · 経過説明(三品委員)
 - 3. 研究助成金交付申請について(東田委員長)
 - 4. シールドに作用する土圧について(東田委員長)
 - 5. ボックスカルバートとシールドセグメントのFEM解析結果の報告(島津委員)
 - 6. 動的解析の方法と目的(島津委員)
 - 7. 更生管の地震時挙動解析の進捗報告(吉村委員)
 - 8. 今後の予定について

(6) 幹事会(H28. 10.22)

- 日 時: 平成 28 年 10 月 22 日 (土) 13:00~17:30
- 場 所:天王寺都ホテル
- 議事:
 - 1. 複合管のFEM解析について
 - 2. 改訂ガイドラインの参考資料について(三品委員・東田委員長)
 - 3. シールドセグメントの解析結果について

(7) 第8回研究会

- 日 時: 平成 28 年 10 月 25 日 (火) 13:00~18:00
- 場 所:中央復建コンサルタンツ株式会社 本社 中会議室
- 議事:
 - 1. 代表挨拶(東田委員長)
 - 2. 議事録確認(井上委員)
 - 3. 複合管の解析条件について(谷川委員)
 - 4. 老朽管・更生管の地震時挙動解析(吉村委員)
 - 5. 動的解析の手法と現状について(山本委員・島津委員)
 - 6. 周面せん断力による土圧について(島津委員)
 - 7. シールドセグメントの解析結果(島津委員・山本委員)
 - 8. ボックスカルバートの解析結果報告(島津委員)
 - 9. 今後の予定について

(8) 幹事会(H28.11.29)

- 日 時: 平成 28 年 11 月 29 日 (火) 13:00~18:00
- 場 所:土木学会関西支部
- 議事:
 - 1. 下水道耐震設計計算例の周面せん断力の計算方法(東田委員長)
 - 2. シールドの地震時安定性(東田委員長)
 - 3. 老朽管と更生管のFEM解析(吉村委員)
 - 4. 下水道協会の委員会の動向(三品委員)
 - 5. 地震時水平地盤変形に関する動的解析(山本委員)
 - 6. ボックスカルバートの底板に作用する地盤反力(島津委員)
 - 7. 今年度報告書の作成(東田委員長)
 - 8. 次年度以降の活動計画(東田委員長)

(9) 第9回研究会

- 日 時: 平成 28 年 12 月 16 日 (金) 13:00~17:20
- 場 所:土木学会関西支部 会議室
- 議事:
 - 1. 代表挨拶(東田委員長)
 - 2. 議事録確認と経過説明(吉村委員・三品委員・今井委員)
 - 3. 耐震計算例の周面せん断力について(東田委員長)
 - 4. 健全な管きょの FEM 解析

- 5. 老朽管と更生管の FEM 解析(吉村委員)
- 6. 地盤変形の動的解析(山本委員)
- 7. H28年度報告書について(東田委員長)
- 8. その他 (東田委員長)

(10) 幹事会(H29.1.30)

- 日 時: 平成 29 年 1 月 30 日 (火) 13:30~16:00
- 場 所:中央復建コンサルタンツ株式会社東京本社
- 議事:
 - 1. Box カルバートの基礎厚 L による変化(結果の確認)(島津委員)
 - 2. シールドセグメントの計算結果(島津委員)
 - 3. 地震時増分荷重の扱い方(東田委員長)
 - 4. 今後の予定

(11) 幹事会(H29.4.20)

- 日 時: 平成 29 年 4 月 20 日 (火) 13:00~17:00
- 場 所:中央復建コンサルタンツ株式会社大阪本社
- 議 事:
 - 1. RC 管の FEM 解析結果
 - 2. 今後の予定

(12) ワークショップ(H29.5.27)

- 日 時: 平成 29 年 5 月 27 日 (火) 13:00~15:00
- 場 所:大阪工業大学大宮キャンパス
- 議 事:
 - 1. 活動報告
 - 2. 提案設計法の改良点と健全なボックスカルバートの地震時挙動予測
 - 3. 健全なシールドセグメントの地震時挙動予測
 - 4. 老朽化および更生した管きょの地震時挙動予測
 - 5. 地震時の地盤変形予測と耐震設計法
 - 6. ディスカッション

2. 現行耐震設計法の地震時増分土圧の検討

本章では、現行耐震設計法¹⁾²⁾に示された地震時増分土圧と管きょに直接作用する真の土圧との相違を、 円形管きょを例にとって説明する。

2.1 微分方程式の解による検討

現行設計法が依拠する応答変位法のモデルと変位の微分方程式³⁾を図-2.1.1に示す。応答変位法では 以下の考え(仮定)に基づいて管きょに作用する地震時増分土圧を算定している。なお、以下で使用して いる「土圧」や「力」は応力単位を有するものとする。

- · 管きょは、ばね係数 k を持つ地盤ばねに支持されている。
- · 管きょに地震時増分土圧が働いて、管きょの支持点が&だけ変位する。
- ・ 地震時増分土圧は、管きょと地盤の相対変位δgによる土圧と周面せん断力(=地盤内応力)τgの 両者の和とする。
- ・ 相対変位 δ_{g} は地盤ばねの先端に加える。ばね力 $k\delta_{g}$ が管きょに伝達され、管きょ支持点は δ_{p1} だけ変位する。よって、地盤ばねに発生する力 p_{1} は、 $p_{1} = k(\delta_{g} \delta_{p1})$ となる。
- ・ 周面せん断力 τ_{g} は管きょに直接加える。管きょ支持点は τ_{g} によって δ_{p2} だけ変位する。よって、 管きょを支える地盤ばねに発生する力 p_{2} は、 $p_{2} = \tau_{g} - k\delta_{p2}$ となる。
- ・ $\delta_{g} \ge \tau_{g}$ の両者が作用する場合、管きょに働くばね力 p は $p=p_{1}+p_{2}$ と表され、管きょ支持点の 変位 δ_{p} は $\delta_{p}=\delta_{p1}+\delta_{p2}$ と表される。
- ばね力pを管きょに作用する地震時増分土圧、管きょ支持点の変位δ、を管きょの変位と見做す。
- ・ ばね力 p が管きょに外力として作用するとして導いた管きょの変位と断面力の関係、および管きょの断面力とばね力の関係から、管きょの変位δ,に関する 6 次の線形微分方程式(図-2.1.1の式(4.2-31))が得られる。
- · この6次の線形微分方程式の特解として管きょの変位&が求められる。
- ・ この解δ,を管きょの変位と断面力の関係式、および管きょの断面力とばね力の関係式にそれぞ れ代入して、管きょに生じる断面力とばね力が定まる。

以上の応答変位法の考えによれば、次のことが言える。

- ・ 設計マニュアル²⁾には、 $k\delta_g \ge \tau_g$ の値が示されているが、これらは管きょに作用する土圧ではない。応答変位法で求められる管きょ表面に働く地震時増分土圧 p は、 $p_1 = k(\delta_g \delta_{p1})$ 、 $p_2 = \tau_g k\delta_{p2}$ 、 $p = p_1 + p_2 = k(\delta_g \delta_{p1} \delta_{p2}) + \tau_g = k(\delta_g \delta_p) + \tau_g \ge 0$ して算定するのが正しい。
- ・ すなわち、実験や解析で得られた地震時増分土圧(=管きょに作用する真の土圧)と比較すべき 設計土圧は、設計マニュアルに荷重として示された $k\delta_g や \tau_g$ ではなく、 $p(=p_1+p_2)$ である。
- ・ 地盤の相対変位 δ_{g} に起因する荷重 $k\delta_{g}$ と周面せん断力(=地盤内応力) τ_{g} の物理的意味は、両者 とも地震時の地盤内応力なので、同じである。したがって、地震時増分土圧 $p \ge k\delta_{g} \ge \tau_{g}$ に起 因する荷重 $p_{1} \ge p_{2}$ の和として求めることは、文献⁴⁾で指摘されているように、ダブルカウント を犯していることになる。
- 管きょの断面力や変位をフレーム計算によって算定する際、kδgとtgを個別に載荷し、得られた 解を足しこむ方法、ならびに両者を同時載荷する方法の2つがあるが、管きょの変位δgは6 次の線形微分方程式の特解として求められているので、両者は同じ結果となる。

- 管きょに働く土圧は、管きょ表面に対して法線方向と接線方向の2成分に分けられる。実験⁵⁾、 弾性理論解析⁶⁾、FEM 解析⁷⁾によれば、接線方向土圧 τ (=せん断土圧)はごく小さく、実際には ほぼゼロと見做してよい。ところが現行設計法では、せん断方向ばね定数 k_s を法線方向ばね定 数 k_n の1/3に低減しているものの、予測された設計せん断土圧 τ は法線方向土圧 σ (=垂直土圧) と同等かそれ以上の大きさを持つので、この $\tau \Rightarrow 0$ の事実の反映が不十分である。
 - さらに、現行設計法では、法線方向ばね定数 k_n の値として Muir が導いた空洞円環の解⁸⁾を採 用しているが、Muir の解は空洞面で $\tau=0$ を仮定して導かれている⁹⁾ので、現行設計法がせん断 方向ばねの存在を仮定することは理論的に Muir の解と矛盾する。





図-2.1.1 応答変位法の定式化(地下構造物の耐震設計技術に関する研究 平成元年度報告書)

2.2 フレーム計算による検討

(1) 相対変位による設計土圧

管きょに働く相対変位による設計土圧[σ]は、前節で述べたことから次式(2.2-a)で求められる。ここに、 [δ_{a}]は地盤の変位、[δ_{b}]は管の変位、[k]は地盤のバネ定数で、[]は法線方向と接線方向の成分を表すもの とする。

$[\sigma] = [k] \{ [\delta_{g}] - [\delta_{p}] \}$

....(2.2-a)

····(2.2-b)

設計マニュアル²⁾には、地盤の変位[δ_{g}]、管の変位[δ_{h}]、地盤のばね定数[k]の数値が示されているので、 これらをこの式に代入すれば[σ]が求められる。そこで、円環をモデル化したばね無しフレームに土圧[σ] を分布荷重として与え、フレームの各節点に生じる曲げモーメント M_{σ} を求めた。

一方、設計マニュアルでは、ばねに支持されたフレームに地盤の変位による荷重[*A*] [*A*_g]を与えて各節 点の変位[*A*_b]と断面力を求める。この計算で得られた曲げモーメントを*M*_{設計}とする。

以上の計算で得られた M_{σ} と M_{BH} が一致することが確認されれば、実験や解析で得られた地震時増分 土圧(=管きょに直接作用する土圧=真の土圧)と比較すべき設計土圧は、設計マニュアルに荷重として 示されている $k\delta_g$ ではなく、式(2.2-a)に示された[σ]、すなわち前節で示した p_1 であることが確かめられ たことになる。

図-2.2.1(a)~(c)は、RC 管、コンクリート系シールドセグメント、鋼製シールドセグメントについて、式(2.2-a)により求めた土圧分布[σ]、ならびに設計マニュアルとばね無しフレーム計算による曲げモーメント分布を示している。土圧分布の実線が垂直土圧 σ 、破線がせん断土圧 τ を表し、それぞれ圧縮、反時計回りを正として描いている。また、曲げモーメント図の実線が設計マニュアルによる $M_{\mbox{ total thm}}$ 、破線がばね無しフレーム計算で得られた M_{σ} の分布で、いずれも内側引張を正として表してある。

図-2.2.1(a)~(c)から以下が判明した。

- ・ 設計マニュアルとばね無しフレーム計算による曲げモーメント分布(M_{wh} と M_{o})はほぼ一致している。
- ・ したがって、実験や解析で得られた地震時増分土圧(=管きょに直接作用する土圧)と比較すべき設計土圧は、式(2.2-a)で求められる[o]であることが確かめられた。

(2) 周面せん断力による設計土圧

管きょに作用する周面せん断力[p]は、地盤内のせん断力 [τ_g]、管の変位[δ_p]、地盤のバネ定数[k]を用いると次式(2.2-b)で表される。ここに、[]は法線方向と接線方向の成分を表すものとする。

$$[p] = [\tau_{g}] - [k] [\delta_{p}] \qquad \cdots$$

設計マニュアルでは、地盤内のせん断力 [τ_g]、管の変位[δ_p]、地盤のバネ定数[k]の数値が示されているので、これらをこの式に代入して[p]を求めた。

つぎに、円環をモデル化したフレームに土圧[p]を分布荷重として与え、フレームの節点に生じる曲げ

モーメントをフレーム計算によって求めた。この計算で得られた曲げモーメントが設計マニュアルに示 された曲げモーメントと一致すれば上式(2.2-b)が正しいものと判断できる。

周面せん断力による土圧の検証は、表-2.2.1 に示す5ケースの計算によって行った。これらの計算によって得られた土圧分布と *M* 分布を図-2.2.2 ~図-2.2.4 に示す。

図-2.2.2~図-2.2.4から判明した事項は以下の通りである。

- ・ ケース①は耐震計算例に示された手法であり、ばねに支持されたフレームに地盤内のせん断力 [τ_g]と地盤のバネ定数[k]を与えた時の M①と管の変位[δ_p ①]が設計マニュアルに結果として示 されている。
- ケース②は、ケース①で求められた管の変位[&①]をばね無しフレームに与えて M②を求める 計算で、設計マニュアルのフレーム計算の確認のために行った。図-2.2.2 に示した設計マニュ アルの M①と M②の分布はほぼ一致しており、最大曲げモーメントの値も、M①_{max} (2.22 kNm) ≒M②_{max} (2.24 kNm)と一致したので、設計マニュアルのフレーム計算には矛盾がないことが確 かめられた。
- ケース③は、ばねなしフレームに式(2.2-b)で求めた[p③]=[τg]-[k] [δ_p①]を与えて M③(と[δ_p③]) を求める計算である。図-2.2.3 に示したように、M③は M①と異なり、M③(2.70 kNm)≠M① max(2.20 kNm)、および[δ_p③]≠[δ_p①]となった。この違いを生じた理由としては、使用計算ソフ トの相違(分割方法、桁落ち、収束条件の不一致など)と[τg]の精度(有効桁数)の相違によるも のが考えられた。
- そこで同一ソフト(FRAMING)を用いて、設計マニュアル(ケース①)と全く同じ計算(ケース
 ④)をしたところ、M④max(2.47 kNm)≠M①max(2.20 kNm)となり、異なる結果が得られたので、この不一致は、使用解析ソフトの相違によって生じていると判断された。
- ・ 同一ソフト(FRAMING)を用いて[p⑤]=[τ_g]-[k] [δ_p ④]を与えて M⑤(と[δ_p ⑤])を算定し、M④と 比較したのが図-2.2.4 である。M⑤と M④の分布は一致し、M⑤_{max} (2.46 kNm)≒M④_{max}(2.47 kNm)、[δ_p ⑤]≒[δ_p ④]となり、矛盾の無い結果が得られた。
- ケース④、⑤の比較から、管に作用する土圧[p]は式(2.2-b)により求めた[p⑤]とすべきことが確 かめられた。



図-2.2.1 相対変位による設計土圧と曲げモーメントの分布

パターン	計算モデル ^{※1}	計算外力※2	計算ソフト*3	算定される解	備考
1	梁・バネ	$[au_{ m g}]$	下水協	M $(\delta_{\rm p})$	耐震計算例の計算
2	梁	$[\delta_{p}]$	FRAMING	M2	$[\delta_p @] = [\delta_p]$
3	梁	$[p3], [\delta_p1]$	FRAMING	M $(\delta_{\rm p}$)	
4	梁・バネ	$[au_{ m g}]$	FRAMING	M (4), $[\delta_p$ (4)]	①とソフトが違う
5	梁	$[p5], [\delta_{p}4]$	FRAMING	M 5, $[\delta_{\rm p}$ 5]	

表-2.2.1 計算パターン

※1:梁-バネ:円環に地盤バネ[k_g]をつけたモデル、梁:円環のみのモデル ※2:計算外力は管面に与える。また、[p③] = [τ_g] – [k_g] [δ_0 ①]、[p⑤] = [τ_g] – [k_g] [δ_0 ④]

※3:下水協:下水道協会の構造解析ソフト、FRAMING:富士通 FIP 製のソフト



図-2.2.2 [rg]分布 およびパターン①、②の M分布







第2章 参考文献

- 1) 日本下水道協会(2014): 下水道施設の耐震対策指針と解説, 2014 年版.
- 2) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編), 2015 年版.
- 3) 建設省土木研究所他(1990): 地下構造物の耐震設計技術に関する研究 平成元年度共同研究報告書.
- J.Tohda, H.Yoshimura and K.Maruyoshi. (2015): Centrifuge Model Tests and Elastic FE Analysis on Seismic Behavior of Buried Culverts, 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, JPN-106, Fukuoka.
- 5) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙 動と設計に関する技術資料(案), pp.43-57, pp.64-77, 地盤工学会.
- 6) Tohda, J., Yoshimura, H., and Maruyoshi, K. (2013): An elastic continuum model for interpretation of seismic behavior of buried pipes as a soil-structure interaction, *Proc. of the 18th ICSMGE*, 1777-1780.
- 7) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), pp.83-98, pp.107-118, 地盤工学会.
- 8) Muir Wood, A.M. (1975): The Circular Tunnel in Elastic Ground, Geotechnique, Vol.25, No.1, pp.115-127.
- 9) 東田淳 (2016): 弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判的考察, 71 回土木学会年講, Ⅲ-068, pp.135-136.

3. 提案設計法の改良点

本年度は、昨年度開発した FEM 解析手法^{1)~5)}に対して、土圧の平滑化と管面の開口処理の 2 点の改良を施した。本章ではこれらについて説明する。

3.1 管きょに作用する土圧の平滑化

(1) 土圧の平滑化の必要性

提案設計法では管きょと地盤の間に厚さゼロの Joint 要素⁶を挿入し、この要素の応力から常時と地震 時増分の土圧を算定する。

図-3.1.1は Joint 要素の応力の説明図である。一個の Joint 要素内の 2 点のガウス積分点の応力が管き ょに作用する土圧であるが、これを採用すると土圧は隣り合う要素で食い違いが生じ、不連続な分布に なるため、土圧の平滑化が必要となる。

(2) 平滑化の方法

平滑化の方法には図-3.1.1に示す方法 a) と方法 b) の 2 つがある。

- ・ 方法 a): 2 点のガウス積分点の応力を節点位置まで外挿し、隣り合う 2 要素の節点の値を平均 して節点における土圧とする方法
- ・ 方法 b): 2 点のガウス積分点の応力の平均値を Joint 要素の中央の土圧とする方法

これまで実施してきた円形管きょの遠心実験の解析^のや昨年度提案した RC 管と FRPM 管の設計法⁴⁾⁵⁾では、土圧の平滑化の方法として**方法 a)**を採用した。

ところが、ボックスカルバートの場合、平滑化に**方法 a)**を適用するのは問題があることが以下の FEM 解析による検討から判明した。

図-3.1.2 に検討に用いたボックスカルバートの FE メッシュ、表-3.1.1 に入力定数を示す。図-3.1.3 に常時の変位図を示す。図-3.1.4 は常時の解析で得られたボックスカルバートの垂直土圧 σ とせん断土 圧 τ の分布である。図-3.1.4 の白抜きマークが σ 、色塗りマークが τ である。また、小さい丸印、四角印、大きい丸印が、それぞれガウス積分点、節点、要素中央における σ と τ を表す。

図-3.1.4から以下のことが分かる。

- ・ *τ*は、管面でごく小さなせん断抵抗が働く条件を与えたので*σ*よりもかなり小さく、3 通りのプ ロットの分布に相違が見られない。
- ・ 側板のσも、3 通りのプロットで違いがほとんどない。
- ・ 上床版と底版におけるガウス積分点のoは、隅角部に近づくほど振動する。
- ・ 上床版と底版における節点のσ(方法 a))は、隅角部付近で一度小さくなって急増する。
- ・ 上床版と底版における要素中央のσ(方法 b))は、隅角部に近づくにつれてスムーズに増える。
- ・ よって、土圧の平滑化の方法としては**方法 b)** が最も妥当な土圧分布と見做せる。

(3) 遠心実験による検証

前項(2)で述べたように、円形管きょとボックスカルバートで適用する平滑化の方法が異なったので、 2 ケースの遠心実験測定土圧との比較によって、方法 a) と方法 b) のどちらが妥当かを調べた。

<Case 1 >

図-3.1.5に、方法 b)を適用した FEM 解析と遠心実験で得られたボックスカルバートの土圧と曲げひ ずみの比較⁸⁾を示す。遠心実験は、ゆる詰めの乾燥砂地盤に土被り高 H=9 cm、基礎厚 $H_b=2$ cm で埋設 した 9 cm×9 cm の模型矩形カルバートを30 g の遠心加速度場に置いて、輪荷重載荷前と載荷時に測定 した。原型寸法は模型寸法を 30 倍したものとなり、H=270 cm、 $H_b=60$ cm、矩形カルバートの寸法は 270 cm×270 cm である。

図-3.1.5から以下が分かる。

 方法 b)によって求めた上床版、底版、側版における要素中心のσと cの分布は、遠心実験の測定 土圧と良い近似が得られている。

<Case 2>

図-3.1.6 に、方法 b)を適用した FEM 解析と遠心実験で得られたボックスカルバートの土圧と曲げモ ーメント M の比較 ⁹⁾を示す。遠心実験は、Case 1 で用いたのと同じ模型矩形カルバートをゆる詰めの乾 燥砂地盤に土被り高 H=9 cm (原型で 270 cm)、基礎厚 $H_b=15$ cm (原型で 450 cm)で埋設し、30 g の遠心 加速度場に置いた後、レベル 2 地震動に相当する $\gamma=\pm3.2$ %の単純せん断変形を模型地盤に 10 回与え、管 きょに働く垂直土圧 σ 、せん断土圧 τ 、ならびに曲げモーメント M の断面方向分布を精度良く測定した。

図-3.1.6 は、せん断前、および地盤を左側に γ =3.2%だけ傾けた時の測定結果と解析結果を示している。記号とそれらを連ねた細線は4通りのせん断繰返し回数Nにおける σ 、 τ 、Mの測定結果である。解析結果は、 σ とMを青太線で、 τ を黒太線でそれぞれ表してある。いずれも σ は圧縮、 τ は反時計回り、Mは内側引張りの場合を正として描いている。

図-3.1.6から以下が分かる。

σ、τ、*M*の測定と解析の結果は、側版のσ分布に多少の違いが見られるものの、*N*が小さい範 囲で良好に近似している。

図-3.1.7 は、この解析で得られた常時とせん断時の垂直土圧の*o*分布を、Joint 要素のガウス積分点、 節点、要素中央でとった場合について示している。

図-3.1.7から以下が分かる。

・ 常時、せん断時とも、Joint 要素中央のプロット(方法 b))が振動もなく、スムーズに分布しており、最も妥当と見做せる。

以上の解析結果と遠心実験測定結果との比較から、ボックスカルバートについては、方法 b)による平 滑化が妥当との結果が得られた。さらに、円形管きょに対して方法 b)を適用した場合、方法 a)とほとん ど変わらない解析結果となることを確認した。したがって、平滑化の方法としては、円形管きょ、ボッ クスカルバートとも、方法 b)を用いるのが妥当と結論した。





図-3.1.1 Joint 要素の応力と平滑化の方法



図-3.1.2 検討に用いたボックスカルバートの FE メッシュ

表-3.1.1 FEM 解析の入力定数

	E (kgf/cm²)	ν	γ (gf/cm³)	備考
管 (矩形, 馬蹄形)	740,000	0.33	3.7 × 30	単位体積重量はR管のものを用いた。
±	50	0.3	1.55 × 30	変形係数は乾燥砂・密詰のK ₀ 圧縮試験結果 から、管中心深さの土被り圧に相当するσ ₁ で の値を用いた。 Εとνは地盤全体に均一に与えた。

	k _n (kgf/cm²)	k _s (kgf/cm²)	備考
ジョイント要素	1,000	3	これまでの埋設管に対するFEM解析のもの を用いた。



図-3.1.3 常時の変位図



図-3.1.4 ボックスカルバートの垂直土圧σとせん断土圧τ



(a) 輪荷重載荷前



(b) 輪荷重載荷時

図-3.1.5 FEM 解析と遠心実験で得られた土圧・曲げひずみの比較



図-3.1.6 地盤せん断遠心実験と FEM 解析で得られた土圧・曲げモーメントの比較



図-3.1.7 FEM 解析で得られた垂直土圧

3.2 管面の開口の処理

(1) 開口の処理の必要性

提案設計法では、自重を与える「常時」の FEM 解析、ならびに自重なしで地震による水平変位を地 盤側方に与える「地震時増分」の FEM 解析を実施し、両者の和を「地震時」の結果としている。 提案設計法で管面の開口の処理が必要な理由は以下の通りである。

- ・ 昨年度、提案設計法によって求めた RC 管のσと M の分布を図−3.2.1 に示す⁴⁾。地震時のσは、
 第2、4象限で引張りとなったが、実際には土は引張に抵抗できないので、この引張りσを生じた範囲では管体と地盤が開口し、土圧が再配分されるはずである。
- ・ そのため、昨年度は、地震時に引張りσを生じた範囲に同じ大きさの圧縮σを与えるフレーム 計算を別途実施して RC 管の *M* を求め、これを提案設計法によって求めた地震時 *M* に足しこ むことによって管面における開口が *M* へ与える影響を補正した。
- ・ この補正を施した場合の M_{max} は5.88 kNm/mとなり、開口を許容しない場合の地震時 M_{max} =6.42 kNm/m よりも小さくなった。
- ・ ところが、この補正方法では解析過程で生じる開口範囲の変化を扱うことができないところに 問題がある。
- ・ そこで、今回は、FEM 解析に引張り領域を解消する手法を取り入れて開口の影響を定量化し、 昨年度のフレーム計算による補正方法と比べることにした。
- (2) 引張り領域の解消方法

引張り領域の解消方法として、以下の2通りの方法を考えた。

<解消方法 #1>

- ・「地震時」計算で生じた引張りのを、「地震時増分」計算でジョイント要素の地盤側の節点に圧縮方向に作用させて、「地震時」のの引張り領域を解消する方法である(図-3.2.2 参照)。
- ・ ジョイント要素(k_n =10000 MPa/m、 k_s =0 MPa/m)は開口させない。
- 圧縮σを作用させると、応力が再配分されて、新たに引張りとなる領域が生じるため、ジョイント要素のガウス積分点における「地震時」のσ(常時σと地震時増分σの和)がゼロに近い±50 MPa/m以下となるまで計算を繰返した。
- このように収束判定に幅を持たせた理由は、ガウス積分点におけるのを平滑化して節点ののを求めているので、節点とガウス点ののとで若干の誤差が発生することを考慮したためである。
- ・ なお、ジョイント要素の2点のガウス積分点の応力の平均値が引張りとなった場合には、その ジョイント要素の範囲を引張り領域と判定した(前節3.1の方法b))。

<解消方法 #2>

- 「地震時」計算で引張りとなったジョイント要素の k_nを、「地震時増分」の計算において 0
 MPa/m とし、そのジョイント要素の地盤側と管側の節点に各節点を引張る方向に常時σを作用させる方法である(図-3.2.3)。
- ・ 引張り領域以外のジョイント要素は、開口しない条件(k_n=50 MPa/m)である。
- 計算は、解消方法 #1と同様に、ジョイント要素のガウス点で、「常時」のと「地震時増分」
 のの和として算定した「地震時」ののが負となる領域が変化しなくなるまで繰り返した。

・ また、ジョイント要素の2点のガウス積分点の応力の平均値が引張りとなった場合には、引 張り領域と判定した(前節3.1の方法b))。

(3) 計算結果

解消方法#1と#2で得られたσと *M* の分布を図−3.2.4 と図−3.2.5 に示す。これらの図から判明した事項は以下の通りである。

- ・ 方法#1の地震時 *M*_{max} は 6.28 kNm/m であり、方法#2の *M*_{max} は 6.44 kNm/m であった。
- 方法#1では、引張領域ありの場合とフレーム計算によって補正した場合の中間的な値であった。
- · 一方、方法#2では、図-3.2.1に示した引張り領域ありの場合とほぼ同値であった。
- ・ これは、引張り σ がなくなると M_{max} が増える側に変化するものの、圧縮 σ が働く範囲が狭くなって M_{max} が減る側に変化するので、両者の影響が相殺するためと解釈できる。
- ・ なお、方法#1と#2とも、 M_{max} は現行設計法の M_{max} =4.72 kNm/mよりも大きく、現行設計法は提案設計法に比べて危険側の設計であることがわかった。
- 解析の方法としては、方法#2のほうが方法#1よりも大きく、かつ開口を許容しない場合の *M_{max}*とほぼ同じになったので、引張り領域が生じる場合、解消方法#2によって影響を評価す ることにした。



図-3.2.1 提案設計法によって求めたσと M

地震時 σ の引張分をJoint要素 の地盤側に分布荷重として作用 させる /



図-3.2.2 引張領域の解消方法 #1



図-3.2.3 引張領域の解消方法 #2



図-3.2.4 解消方法#1 によるσと M



図-3.2.5 解消方法#2 によるσと M

第3章 参考文献

- 1) 土木学会関西支部(2016): 老朽化、および更生した下水道管きょの耐震設計法に関する研究 平成 27 年度報告書.
- 東田淳 (2016): 弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判的考察, 71 回土木学会年講, Ⅲ-068, pp.135-136.
- 3) 井上他 (2016): 円形管の耐震設計法(断面方向)の開発, 71 回土木学会年講, III-069, pp.137-138.
- 4) 島津他 (2016):提案設計法と現行設計法によって予測した RC 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学 会年講, Ⅲ-070, pp.139-140.
- 5) 吉村他(2016):提案設計法と現行設計法によって予測した FRPM 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学 会年講, III-071, pp.141-142.
- H.D.Sharma etc (1976): Generalization of sequential analysis, IInd ASCE Int. Conf. of Numerical Methods in Geomechanics.
- 7) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙 動と設計に関する技術資料(案), pp.83-98, pp.107-118, 地盤工学会.
- 8) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), pp.91, 地盤工学会.
- 9) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), pp.116, 地盤工学会.

4. 提案設計法と現行設計法の比較(健全な管きょの場合)

本章では、設計マニュアル¹⁾に記載された健全な管きょの中の現場打ちボックスカルバート、鋼製シ ールドセグメント、およびコンクリート系シールドセグメントの荷重・断面力について、提案設計法と 現行設計法による予測を比較する。本章では、現場打ちボックスカルバートを矩形きょ、鋼製シールド セグメントとコンクリート系シールドセグメントを併せてシールド管きょと呼ぶ。

なお、健全な RC 管と FRPM 管の比較は昨年度の報告書²⁾に記載してあるので併せて参照されたい。

4.1 現場打ちボックスカルバート

(1) 解析モデル

図-4.1.1、表-4.1.1 に FEM 解析モデルと入力パラメータを示す。

- ・ 矩形きょと地盤は線形弾性体と仮定した。
- ・ 表-4.1.1 に矩形きょの入力パラメータを、また図-4.1.1 と図-4.1.2 に地盤の入力パラメータ を示す。
- ・ 解析モデルの全高 H_{Σ} =24.7 m は設計マニュアルに合わせ、地盤幅 B=27.2 m は昨年度の検討結果 ²⁾に基づいて B/H_{Σ} =1.1 になるように定めた。
- ・ 矩形きょの躯体要素(2層×72分割)と土要素の間にはジョイント要素³⁾を挿入し、躯体表面にお ける滑動と開口を許容した。表-4.1.1にジョイント要素の値を示した。
- ・ 常時の解析では、図-4.1.1(a)と図-4.1.2に示すように基床厚 H_bを前年度の検討結果に基づいて 30 cm とし、基床底で変位を拘束し、地盤側方で K₀条件を与えた。
- ・ 地震時増分の解析では、重力加速度ゼロ・躯体表面の開口なしの条件で、側方境界の鉛直変位 をゼロに固定し、地表面と側方境界に設計マニュアルで規定された一次モードの強制水平変位 量を与えた。また、躯体中央深さ 3.45 m におけるレベル 2 地震動の設計水平加速度 0.6 g (g: 重 力加速度)を躯体の各要素に与えて、躯体に働く水平慣性力を考慮した。

地盤条件は、現行設計法では2通りの地盤タイプを扱っているが、今回は設計マニュアル¹⁾の設計事例に合わせてタイプI地盤を採用し、以下の通りとした。

- ・ 昨年度報告した RC 管と FRPM 管の提案設計法²⁾では、常時の地盤条件として、①単位体積重量は地表面~管側深度までの平均有効重量、②地盤の弾性係数は管側深度の周辺地盤のN値を用いて E_s=700N (kN/m²)、③基床厚 H_bを 30 cm とし、基床底で変位をゼロに拘束、④静水圧は管面に作用する分布荷重、をそれぞれ与えたが、今回の矩形きょの埋設条件は、図-4.1.2 に示すように、地下水位が矩形きょの中央深度近くにあり、かつ4層の地盤が絡んで昨年度のケースよりも複雑である。
- そこで、昨年度採用した①と②の単純化は採用せず、図-4.1.2 に示すように層ごとに単位体積 重量 γ・ γ と E_s=700N (kN/m²)を与えた。
- ・ *H*_b と静水圧の与え方は昨年度と同じとした。*H*_b の違いと静水圧の有無による常時の解析結果の変化については後述する。
- ・ 地震時増分計算における地盤条件は、昨年度と同じく、現行設計法に合わせて、S波速度から 決まるせん断弾性係数 G₀(および表-4.1.1に示す動的な弾性係数 E_Dとポアソン比_{VD})を持つ自

重なしの一様地盤とした。

提案設計法では、常時と地震時増分の土圧の和を地震時土圧とするが、剛性の高い RC 管や今回の矩形きょでは、地震時垂直土圧のが引張りとなる領域が発生する。実際にはそこで土と躯体は開口し、躯体に働く引張りのは消滅する。そこで、地震時増分の解析において、前章 3.2 で示した以下の 2 通りの方法で地震時引張りのを解消させる繰り返し計算を行った。

- 方法#1: 地震時に生じた引張りσを、躯体要素と土要素の間に挿入したジョイント要素の土側 節点に圧縮σとして作用。
- 方法#2: 地震時に引張り領域となったジョイント要素の垂直剛性knをゼロにして引張りσをゼロとし、そのジョイント要素の土側と躯体側の節点に常時σ相当節点力をそれぞれ土・躯体を引っ張る方向に作用(図-4.1.3 参照)。

以上の2通りの方法をRC管に適用した結果は以下のとおりである。

- 方法#2の M_{max} は方法#1の M_{max} よりも大きく、かつ開口を許容しない場合の M_{max} とほぼ同じになった。
- ・ そこで、矩形きょでは**方法#2**によって地震時の開口を許容することにした。

(2) 基床厚 代の違いと水圧による常時外力の変化

図-4.1.4 は、FEM 解析によって求めた基床厚 H_b の違いによる常時垂直外力(垂直土圧と水圧の和)の 変化を示している。黒実線、緑破線、赤破線がそれぞれ H_b を 30 cm、97.5 cm、175 cm に変化させた時 の垂直外力で、青実線が水圧である。

この図から以下が分かる。

- ・ *H*_bが大きくなるにつれて、垂直外力は側板下端と底版両端付近で増えるが、この部分を除く と *H*_bによる変化はほとんど見られない。
- ・ 図-4.1.4 で見られた底版の等分布に近い垂直荷重分布は、乾燥砂または湿潤砂中に H_bを原型寸法で 30~540 cm の範囲に変えて埋設した高さと幅が原型で 270 cm の矩形きょの遠心実験で得られた底版の両端に集中する凹型の土圧分布⁴⁾⁵⁾とは異なっている。

この差異の理由を確認するため、 H_b =175 cm の FEM 解析で、地下水圧を無視し、第3層の粘性土と 第4層の砂質土の γ_{sat} を耐震計算例に合わせてそれぞれ 17 kN/m³、18 kN/m³とした場合の垂直土圧の分 布を求めた。結果を図-4.1.5 に示す。

この図から以下が分かる。

- 図-4.1.4の水圧あり・H_b=175 cmの場合と比べて、図-4.1.5では底版の土圧は両端への集中がかなり顕著である。
- ・ よって、図-4.1.4 で H_bに拘わらず底版の垂直外力分布が等分布に近かったのは、水圧による浮力の影響によるものと結論できた。

(3) 解析結果

図-4.1.6 は提案設計法によって求めた地震時に躯体と地盤の間の開口が無い場合の垂直荷重(垂直土 圧と水圧の和)の分布を、圧縮を正として表している。図の点線、破線、実線がそれぞれ常時、レベル2 地震動による地震時増分、両者の和として求めた地震時を表す。せん断土圧は、実験事実に基づいて管 面で滑動条件を採用したので、どの時点でもゼロである。

この図から以下が分かる。

- 常時の垂直荷重は、頂版では凹型分布、側板では三角形分布、底版ではほぼ等分布である。
- ・ 地震時増分の垂直荷重は、地盤境界に与えた一次モードの地盤変形と躯体に作用する水平慣 性力により生じ、右上と左下の隅角部に集中し、右下と左上の隅角部では引張りとなる。
- ・ 常時荷重と地震時増分荷重の和として求まる地震時荷重でも、左側壁上部と右下隅角部付近 に引張り荷重が残る。

図-4.1.7 は、提案設計法によって求めた地震時開口ありの場合の垂直荷重、曲げモーメント M、および軸力 N の分布である。M は内側引張り、N は圧縮をそれぞれ正として表してある。なお、隅角部近傍では躯体要素のひずみ分布が平面保持の仮定を満足せず、M と N の分布が乱れたため、隅角部のごく近傍(2.5 要素の範囲)で、M を二次曲線、N を直線で置き換え、上部ではハンチ始点まで、下部では部材端まで延長したラインを示してある。

図-4.1.7から以下のことがわかる。

- ・ 地震時荷重は、図-4.1.6 で見られた左側壁上部と右下隅角部付近の引張り荷重が躯体と地盤 の開口によって消滅している。
- M図から、地震時には垂直荷重が右上と左下の隅角部に集中するため、矩形きょが左方向に 傾いた平行四辺形に近い形に変形することが分かる。
- ・ また頂版と底版の地震時増分 N が左側ほど大きくなっているのは、躯体に働く水平慣性力に よるものである。

(4) 現行設計法による予測との比較

図-4.1.8 は現行設計法によって求めた荷重と断面力の分布である。図-4.1.8(a)の荷重のスケールは 図-4.1.6、図-4.1.7 とは異なるが、図-4.1.8(b)の断面力のスケールは図-4.1.7 と同じである。図 -4.1.8(a)の荷重の○と●はそれぞれ垂直荷重(垂直土圧と地下水圧の和)とせん断土圧τで、τは反時計回 りを正として表している。

図-4.1.8 に示した地震時増分と地震時における垂直荷重とせん断土圧を現行設計土圧と比較する際は、以下に注意が必要である。

- ・ 現行設計法では、地震時増分荷重は地盤の相対変位δgと周面せん断力τgの両者によって生じるものと仮定され、設計マニュアルにはδgとτgの値が示されている。
- ・ ところが、実際に管きょに働く垂直・せん断両荷重 p は、第2章 2.1 で述べたように、 $p = p_1 + p_2$ 、 $p_1 = k(\delta_g \delta_{p_1})$ 、 $p_2 = \tau_g k\delta_{p_2}$ として算定するのが正しい。ここに、 $p_1 \ge p_2$ はそれぞれ $\delta_g \ge \tau_g$ に起因する管きょ表面に働く荷重、 $\delta_{p_1} \ge \delta_{p_2}$ はそれぞれ $\delta_g \ge \tau_g$ によって生じる管きょ の変位、k は地盤のばね定数である。

- ・ 設計マニュアルに示された δ_g 、 τ_g は管きょ表面に働く荷重 p_1 、 p_2 とは異なることに注意が必要である。
- ・ 図-4.1.8 に示した地震時増分と地震時における垂直荷重とせん断土圧はいずれも *p*=*p*₁+*p*₂ によって求めている。

図-4.1.8から以下が分かる。

- ・ 常時の現行設計荷重は、頂板では等分布であり、これは図-4.1.7に示した提案設計法による 常時の凹型分布とは異なるが、側板と底版の荷重分布は現行・提案両設計法で良く似ている。
- ・ 地震時の現行設計荷重は、図-4.1.7 ではゼロであった が→で示す方向に働き、またσは図
 -4.1.7 の分布とは異なって左下の隅角部のみに集中しており、提案設計法による地震時荷重とは異なる。なお、地震時増分と地震時で側板下方の が一定になっているのは、地盤強度で頭打ちされているためである。
- ・ 図-4.1.8(b)の現行設計法の *M* は図-4.1.7 の *M* に比べると全体にかなり小さいが、分布形はほぼ同じであり、矩形きょが地震によって図-4.1.7 と同じモードで変形することが分かる。
- このように、変形モードは現行・提案両設計法で似ているが、図-4.1.8(a)に示した現行設計法の地震時増分荷重は、たの方がのよりもかなり大きいので、現行設計法では地震による矩形きょの変形を引き起こす主因が矩形きょ表面に働くたであると仮定していることが明らかである。
- ・ これに対して、図-4.1.7の提案設計法では、実験事実に基づいた r=0の条件で地震時に同じ変形モードを生じている。
- さらに、図-4.1.7と図-4.1.8の地震時Nの分布の相違もこの両設計法のての相違によって生じていると解釈できる。

図-4.1.9 は、提案・現行両設計法によって予測した地震時の曲げに対する断面照査の結果を示している。図中の数値は各断面位置における r_iM_d/M_{ud} の値で、上段が提案設計法、下段が現行設計法による値である。ここに、 r_i は構造物係数(=1)、 M_d は矩形きょに生じる曲げモーメント、 M_{ud} は設計曲げ耐力である。

図-4.1.9から以下が判明した。

提案設計法による $r_i M_d / M_{ud}$ の最大値 0.64 は現行設計法の最大値 0.44 よりも 1.45 倍ほど大き く、現行設計法が提案設計法に比べてかなり危険側の設計となっていることが分かった。


図-4.1.1 現場打ちボックスカルバート(矩形きょ)の解析モデル(B=27.2 m、H₂=24.7 m)

表-4.1.1 提案設計法(FEM)の入力パラメータ

地盤(地震	時増分)1)	カ,	ルバート		ジョイント要素		
E _D	ν _D	Ep	Vn	$\gamma^{2)}$	$k_n^{(3)}$	k _s	
(kN/m^2)	· D	(kN/m^2)	, b	(kN/m^3)	(GN/m^3)	(GN/m^3)	
24539	0.493	25000000	0.167	24.5	9.81	0	

1) 動的弾性定数, 2) 地震時増分では慣性力を除きゼロ, 3) 地震時増分の開口部ゼロ



図-4.1.2 常時の埋設条件



図-4.1.3 引張領域の解消方法 #2 (図-3.2.3 再掲)



図-4.1.4 Hbの違いによる常時外力の変化



図-4.1.5 水圧を無視した場合の常時土圧 (Hb=175 cm)



図-4.1.6 提案設計法によって求めた垂直荷重分布(地震時に躯体表面の開口無し)



図-4.1.7 提案設計法によって求めた垂直荷重と断面力の分布(地震時に躯体表面の開口あり)



(b) 断面力

図-4.1.8 現行設計法によって求めた垂直荷重と断面力の分布



図-4.1.9 両設計法による r₁M_d/M_{ud}の比較(提案設計法/現行設計法)

4.2 シールド管きょ

(1) 解析モデル

図-4.2.1 に解析に用いたタイプ I 土質モデルを示す。表-4.2.1 にシールド管きょ(鋼製シールドセグ メントとコンクリート系シールドセグメント、以下 ST セグメント、RC セグメントと呼ぶ)の諸元と埋 設土被り高を示す。

シールド管きょの解析に用いた解析モデルと入力パラメータを図-4.2.2、表-4.2.2、表-4.2.3に示す。 モデルと入力パラメータは以下のように決めた。

- · 管きょと地盤は線形弾性体と仮定した。
- ・ 解析モデルの全高 H_{Σ} =24.7 m は耐震計算例 ¹⁾に合わせ、地盤幅 B=27.2 m は前年度の検討結果 ²⁾に基づいて B/H_{Σ} =1.1 になるように定めた。
- · シールド管きょは剛性が一様な梁構造と仮定した。
- シールド管きょの躯体要素と土要素の間にはジョイント要素³⁾を挿入し、管きょ表面における 完全滑動条件を与えた。
- ・ 常時の解析では、図-4.2.1(c)に示すよう基盤面で変位を拘束し、地盤側方で K₀条件を与えた。
- ・ 地震時増分の解析では、重力加速度ゼロ・躯体表面の開口なしの条件で、側方境界の鉛直変位 をゼロに固定し、地表面と側方境界に耐震計算例で規定された一次モードの強制水平変位量を 与えた。
- ・ 常時と地震時増分の和を地震時とした。地震時には管きょ表面に働く垂直土圧 oが引張りとなる領域は生じなかったので、管きょと地盤の開口の処理は行わなかった。

地盤条件は、現行設計法では2通りの地盤タイプを扱っているが、今回は耐震計算例²⁾の設計事例に 合わせてタイプI地盤を採用し、以下の条件を与えた。

- ・ 常時の地盤条件として、①単位体積重量は地表面~管側深度までの平均有効重量を地盤の全層に一定値、②地盤の弾性係数は管側深度の周辺地盤のN値を用いて E_s=700N (kN/m²)、③静水 圧は管面に作用する分布荷重、をそれぞれ与えた。静水圧は、管きょ面のジョイント要素の管きょ側節点に作用する分布荷重として与えた。
- ・ 地震時増分計算における地盤条件は、現行設計法に合わせて、S 波速度から決まるせん断弾性
 係数 G₀(および表-4.2.2と表-4.2.3に示す動的な弾性係数 E_Dとポアソン比v_D)を持つ自重なしの一様地盤とした。

(2) 解析結果

図-4.2.3~図-4.2.4 に、FEM 解析で得られたシールド管きょの垂直土圧 σ と曲げモーメント M の分 布を示す。図-4.2.3(a)~(d)が ST セグメント、図-4.2.4(a)~(d)が RC セグメントの場合の結果であ る。両図の(a)は常時荷重を示し、緑のラインが有効土圧、青のラインが水圧、黒破線が両者の和を表 す。両図の(b)~(d)は、荷重、曲げモーメント M、軸力 N の分布を示し、いずれも黒破線、青破線、赤実線がそれぞれ常時、地震時増分、および両者の和として得られる地震時の分布を表す。せん断土圧 tは管面の完全滑動条件を採用したので、ゼロである。

これらの図から以下のことが分かる。

- ・ 常時の荷重は、両セグメントとも、有効土圧が管頂と管底に集中するため、全体に細長の分布 となっている。集中度合いは RC セグメントの方がわずかに大きい。常時の M と N は両セグメ ントで差が見られない。
- ・ 地震時増分荷重は、両セグメントとも、分布の対称軸がほぼ 45°時計回りに回転しており、荷 重の大きさは RC セグメントの方が ST セグメントよりもかなり大きい。そのため、地震時増 分の M も RC セグメントの方が ST セグメントよりもかなり大きくなっている。地震時増分 N にはあまり差がない。
- 両者の和として得られる地震時荷重は、両セグメントとも、分布の対称軸が時計回りに回転するが、回転角度は地震時増分よりも減っている。地震時の M は RC セグメントの方が ST セグメントよりもかなり大きいが、N には差があまり見られない。

(3) 現行設計法による予測

改訂設計マニュアル(2015)¹⁾では、シールド管きょについては、円形の管きょを48の骨組み(フレーム) に分割し、構造計算(フレーム計算)によって管の曲げモーメント、せん断力、軸力を算出する手法を採 用している。

常時荷重は、鉛直土圧として土被り圧を等分布で与え、水平土圧は深さとともに直線的に増加する台 形荷重として与える。水平土圧は、側圧係数*λ*=0.8として求めている。また、水平土圧の他にセグメン トの変形に起因する水平地盤反力として、管側部を頂点とする三角形分布荷重を与える。水圧は考慮し ない。

地震時増分荷重としては、地盤の地震時水平変位振幅から管頂と管底の間の相対変位を求め、これに 地盤のばね定数を乗じて算出した「相対変位による水平荷重」と地震時に地盤に生じる「地震時周面せ ん断力」の和を与える。ただし、第2章で述べたように、両者とも管きょの変位に地盤のばね定数を乗 じたものとの差が管きょに作用する土圧となる。地震時周面せん断力は、地盤のせん断強度を上限とす る。

図-4.2.5 と図-4.2.6 に ST セグメントと RC セグメントの垂直土圧 σ 、せん断土圧 τ 、曲げモーメント Mの分布を示す。各図の(a)、(b)、(c) がそれぞれ常時、地震時増分、地震時の分布である。常時の図 (a)の①には改訂設計マニュアル(2015)¹⁾に示されている常時の鉛直土圧 p_v と水平土圧 p_h の分布、ならび に p_v と p_h から垂直土圧 σ とせん断土圧 τ を求める変換式を示している。さらに、地震時増分の図(b)の① ②はそれぞれ、相対変位と地震時周面せん断力による $\sigma \cdot \tau$ と Mの分布を、また図(b)の③は両者の和を 示している。地震時の図(c)は常時と地震時の和として得られる地震時の $\sigma \cdot \tau$ と Mの分布を示している。 どの図でも、 σ は管中心向き、 τ は反時計回り、Mは内側引張をそれぞれ正として極座標表示している。

各図から以下のことが分かる。

- 図(a)に示した常時では、σは両セグメントともほぼ均等分布であるが、管側と管底のσは RC セグメントの方がわずかに大きい。τは両セグメントともσに比べてごく小さい。Mは両セグメ ントとも管頂の方が管底よりも大きく、全体に RC セグメント>ST セグメントとなっている。
- 図(b)①に示した相対変位による地震時増分では、RC セグメントの M が ST セグメントの M よりもかなり大きい。
- 図(b)②に示した地震時周面せん断力による地震時増分では、両セグメントの M は、周面せん 断力が地盤のせん断強度で頭打ちされて土圧σ・τが小さいため、①の相対変位による M に比 べてごく小さくなっている。

- 図(b)③に示した地震時増分(①+②)の Mは、RC セグメントの方が ST セグメントよりもかなり大きくなっている。
- 図(c)に示した地震時では、Mの分布形は、両セグメントとも対称軸が鉛直軸から反時計回りに 45°程度回転している。また、Mの大きさは、RC セグメントの方が ST セグメントよりも大きくなっている。

(4) 解析結果と現行設計法との比較

FEM 解析の結果(図-4.2.3~図-4.2.4)と現行設計法による予測(図-4.2.5 と図-4.2.6)の比較から以下が分かる。

- ・ 常時荷重が FEM 解析の結果と現行設計法による予測で全く異なる。すなわち、FEM 解析で は管頂と管底に集中するが、現行設計法ではこのような集中は見られず、ほぼ均等な荷重 分布である。そのため、FEM 解析の M_{max}の大きさは現行設計法の M_{max}に比べ、ST セグメ ントで6倍、RC セグメントで4倍となっている。
- ・ 地震時増分土圧は、FEM 解析のせん断土圧τがゼロなのに対して、現行設計法では垂直土圧 σよりもせん断土圧τの方が大きくなっており、両者は定性的に大きく異なる。
- ・ 常時の *M*_{max} が大きく異なることが地震時の *M*_{max} に反映されて、FEM 解析の *M*_{max} の大きさ は現行設計法の *M*_{max} に比べ、ST セグメントで 4.5 倍、RC セグメントで 2.4 倍となってい る。

(5) 応力照査の結果

FEM 解析、および現行設計法で得られた断面力を用いて実施した常時と地震時の応力照査の結果を表 -4.2.4 と表-4.2.5 に示す。

この表から以下が分かる。

- ・ 提案設計法による ST セグメントの応力照査によれば、常時・地震時とも、鋼材の許容応力 ならびに引張強度をクリアーできない。
- ・ 提案設計法による RC セグメントの応力照査によれば、常時・地震時とも、抵抗曲げモーメント *M*_rならびに曲げ耐力 *M*_{ud}をクリアーできない。
- ・ 現行設計法による RC セグメントの応力照査によれば、地震時の発生曲げモーメント *M*_d は 曲げ耐力 *M*_{ud} にごく近い。

(6) 常時の FEM 解析条件の検討

前項(5) で述べたように、提案設計法による応力照査の結果によれば、両セグメントとも常時で限界 応力を超える結果となり、これは実際に施工されたシールド管きょの破壊が生じていない事実と矛盾す る。そこで、以下に述べるような常時荷重に関する検討と応力照査を追加し、さらにこの常時荷重と FEM による地震時増分の和を地震時として応力照査を行った。

① シールドセグメントに作用する土圧と水圧の測定例を収集し、検討したところ、施工からある程度の期間を経た場合、測定常時土圧は水圧に等しいとするものが多数を占めることが分かった(付録2参照)。厳密には土圧の測定精度に疑問が残るものの、これらの測定結果に従って水圧に等しい土

圧が作用すると仮定した場合の応力照査の結果を表-4.2.6に示す。この結果から以下が分かる。

- ・ ST セグメント、RC セグメントとも、常時は応力照査をクリアーする。
- ST セグメントは地震時も応力照査をクリアーするが、RC セグメントは地震時の応力照査を クリアーしない。
- ② 耐震計算例の常時土圧が経験則に基づいて決定されていると考えて、これを常時土圧として採用した場合の応力照査の結果を表-4.2.7に示す。この結果から以下が分かる。
 - ・ ST セグメント、RC セグメントとも、常時は、当然ではあるが応力照査をクリアーする。
 - ・ ST セグメントは地震時も応力照査をクリアーするが、RC セグメントは地震時の応力照査をクリアーしない。
- ③ 円形管きょの曲げモーメントは、たわみ性指数 κ(=地盤剛性/管きょ剛性)の増大、すなわち地盤剛 性に対する相対的な管きょのたわみ性の増大につれて小さくなることが弾性理論によって明らか にされているので、κが大きくなるように以下の検討を常時のFEM 解析に対して追加した。しかし、 結果はいずれも常時の応力照査をクリアーできなかった。
 - シールド管きょの埋設粘土地盤のE_sをE_s=700N (1400 kPa)からE_s=210c_u(2520 kPa)~480c_u(5760 kPa)に増大
 - ・ セグメントの曲げ剛性 EI にη=0.8、0.6 を乗じてシールド管きょのたわみ性を増大
- ④ 裏込め注入層が固化したと考えて、裏込め注入層相当のセグメントの外周厚さ6 cm の範囲の一軸 圧縮強度を qu=1960 kPa (20 kgf/cm²)と仮定して、Es=480cu= 470 MPa (4800 kgf/cm²)に増大させたと ころ、セグメントに生じる縁応力は 10 %程度低下したものの、やはり常時の応力照査をクリアーで きなかった。

(7) 考察

常時の FEM 解析の結果は、管頂と管底へ土圧が集中し、セグメントが破壊する結果となった。この 結果は、シールド覆工の遠心実験の測定結果⁶⁾と同様な傾向であった。実際に施工されたシールド管き ょの大半は破損していないので、常時の FEM 解析の断面力が過大となった原因として考えられる要因 を追加して解析を実施したが、満足できる結果は得られなかった。したがって、今回のシールドセグメ ントの FEM 解析には、実際のセグメントの挙動についてまだ考慮できていない事柄、あるいは検討が 不十分な事象が存在しているものと考えられ、これについては今後の研究課題とする。特に、自然地盤 をシールドマシンで繰り抜いて空洞を築造し、そこにシールド管きょを自然地盤とのクリアランスを保 って設置するという状態が、掘削溝に管きょを設置し、管きょの周囲をクリアランスなしに土で埋め戻 すという状態とは力学的条件が異なると推定されるので、この点に追及の余地があると思われる。

一方、地震時増分の FEM 解析の結果は、埋設管きょの地震時挙動をシミュレートした遠心実験との 整合性が確認されているので、原理的に問題のある応答変位法を用いた現行設計法の予測に対して優位 性を持つと結論してよい。

以上を踏まえると、常時を耐震計算例、地震時増分を FEM 解析、地震時を両者の和とする表-4.2.10 と表-4.2.11 の結果が現時点では妥当と考えられる。その場合、RC セグメントは地震時に破壊すること になるので、検討対象とした埋設条件ではRC セグメントの厚さを1 ランク上げる必要があると言える。



図-4.2.1 タイプ I 土質モデル

表-4.2.1	シールド管きょの主な諸元と土被り高

管きよ	管種	外径D (cm)	管厚t (cm)	弹性係数E (N/mm ²)	ポアソン比ル	管剛性S _p ¹⁾ (kN/m ²)	土被り高H (m)
RC管	下水道用鉄筋 コンクリート管 B形管	116.4	8.2	33000	0.167	9850	2
FRPM管	下水道用強化 プラスチック 複合管 B形管	124.8	2.4	14700	0.3	81.2	5
RC セグメント	下水道シールド 工事用セグメト コンクリート系 セグメントC23	355	12.5	33000	0.167	1100	12.5
鋼製 セグメント	下水道シールド 工事用セグメント 鋼製系セグメント S50	355	12.5 (主桁高 さ)	210000(材料) 7990(管厚換 算) ²⁾	0.3	284	12.5

¹⁾ $S_p = [E \cdot t^3 / \{12(1-v^2)\}] / R^3, R = (D-t) / 2$

²⁾ 主桁高さtから求めたIを計算例に示されたEIの値に当てはめて算定したE



図-4.2.2 解析モデル

表-4.2.2 ST セグメントの解析における入力パラメータ

解析時点	地盤の 弾性係数 E _s (kPa)	地盤の ポアソ ン比 _{Vs}	地盤の 平均単位 体積重量 (kN/m ³)	管の 外径 D (m)	管厚 t (m)	管の 弾性係数 E _p (kPa)	管の ポアソ ン比 _V p	管の単 位体積 重量 ^{アp} (kN/m ³)	ジョイント 要素の 垂直剛性 <i>k</i> n (MPa/m)	ジョイント 要素の せん断剛性 <i>k</i> ₅ (MPa/m)
常時	1400	0.333	9.6	3.55	0.13	7990000	0.3	8	10000	0
地震時増分	24539	0.493	0	3.55	0.13	7990000	0.3	8	10000	0

※地震時増分のジョイントは開口させない, E_s=700N

※セグメントの弾性係数は2.1×10⁸kN/m²であるが、一様なt=0.125mとして モデル化しているため、EIを等しくおいてEpを換算している

表-4.2.3 RC セグメントの解析における入力パラメータ

解析時点	地盤の 弾性係数 Es (kPa)	地盤の ポアソ ン比 _{Vs}	地盤の 平均単位 体積重量 γ (kN/m ³)	管の 外径 D (m)	管厚 t (m)	管の 弾性係数 E _p (kPa)	管の ポアソ ン比 <i>v</i> p	管の単 位体積 重量 ^{グp} (kN/m ³)	ジョイント 要素の 垂直剛性 k_n (MPa/m)	ジョイント 要素の せん断剛性 <i>k</i> 、 (MPa/m)
常時	1400	0.333	9.6	3.55	0.13	33000000	0.167	26	10000	0
地震時増分	24539	0.493	0	3.55	0.13	33000000	0.167	26	10000	0

※地震時増分のジョイントは開口させない, E_s=700N



図-4.2.3 ST セグメントの解析結果



図-4.2.4 RC セグメントの解析結果



鉛直・水平土圧 (p_v・p_h)の分布と垂直・せん断土圧 (σ・τ)への変換式





図-4.2.5(a) ST セグメントの土圧と M の分布(常時)



相対変位による σ・ τと M



② 地震時周面せん断力によるσ・τと Μ

図-4.2.5(b) ST セグメントの σ・ τと M の分布(地震時増分)(続く)



図-4.2.5(b) 鋼製セグメントのσ・τと Mの分布(地震時増分)



図-4.2.5(c) ST セグメントのσ・τと M の分布(地震時=常時+地震時増分)



鉛直・水平土圧 (p_i・p_i)の分布と垂直・せん断土圧 (σ・τ)への変換式



2 $\sigma \cdot \tau \geq M$

図-4.2.6(a) RC セグメントのσ・τと M の分布(常時)







② 地震時周面せん断力による σ・ τと M

図-4.2.6(b) RC セグメントの *σ*・ *τ*と *M* の分布(地震時増分)(続く)



③地震時増分=相対変位+地震時周面せん断力

図-4.2.6(b) RC セグメントの*σ*・*τ*と*M*の分布(地震時増分)



図-4.2.6(c) RC セグメントの*σ*・*τ*と*M*の分布(地震時=常時+地震時増分)

表-4.2.4 常時・地震時増分とも FEM 解析による応力照査 (常時:土圧・水圧載荷) (a) ST セグメント

		М	Ν	外縁σ	内縁σ	許容or引張りσ	
時点	着目点	(kNm∕m)	(kNm∕m)	(N/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)	判定
一一一一	M+最大	67.51	281.75	705.81	-689.67	215	×
吊吁	M−最大	-66.36	386.57	-525.83	845.94	215	×
まして	M+最大	69.69	279.26	725.65	-714.85	490	×
地辰时	M−最大	-68.72	389.19	-547.31	873.16	490	×

(b) RC セグメント

		Md	Ν	常時Mr	地震時Mud		
時点	着目点	(kNm∕m)	(kNm∕m)	(kNm∕m)	(kNm∕m)	riMd/Mr riMd/Mud	判定
常時	M+最大	80.00	402.45	27.95		2.862	Х
	M−最大	-81.26	270.24	-22.66		3.586	Х
地雪時	M+最大	94.76	253.19		30.638	3.093	Х
地辰时	M−最大	-92.87	417.32		-33.81	2.747	Х

表-4.2.5 常時・地震時増分とも耐震計算例による応力照査

(a) ST セグメント

			М	Ν	外縁σ	内縁σ	許容or引張りσ	
	着目点		(kNm/m)	(kNm∕m)	(N/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)	判定
告中	M+最大		11.47	317.36	188.11	-48.92	215	0
마마	M−最大		-10.26	357.14	-5.99	206.05	215	0
	M+最大	縁応力最大	13.51	301.89	203.40	-75.87	490	0
地震時	м_是ᅷ	縁応力最大	-16.3	384.94	-55.75	281.20	490	0
	101-取八		-16.35	381.31	-57.16	280.87	490	0

(b) RC セグメント

		Md	Ν	常時Mr	地震時Mud		
時点	着目点	(kNm∕m)	(kNm/m)	(kNm∕m)	(kNm∕m)	riMd/Mr riMd/Mud	判定
告中	M+最大	17.02	310.25	24.28		0.701	0
吊吁	M−最大	-16.31	361.93	-26.34		0.619	0
地雪哇	M+最大	37.47	284.08		38.88	0.964	0
地辰吋	M-最大	-40.27	399.76		-42.86	0.940	0

表-4.2.6 常時・地震時増分とも FEM 解析による応力照査 (常時:水圧のみ載荷)

(a) ST セグメント

		М	Ν	外縁σ	内縁σ	許容or引張りσ	
	着目点	(kNm∕m)	(kNm/m)	(N/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)	判定
告中	M+最大	6.75	215.75	118.02	-21.42	215	0
市时	M−最大	-5.94	204.77	-4.01	118.83	215	0
きょう	M+最大	17.98	227.81	226.69	-145.048	490	0
地辰时	M−最大	-18.13	192.43	-121.7067	253.1222	490	0

(b) RC セグメント

		Md	Ν	常時Mr	地震時Mud		
時点	着目点	(kNm∕m)	(kNm/m)	(kNm∕m)	(kNm∕m)	riMd/Mr riMd/Mud	判定
一一一	M+最大	5.04	209.00	20.13		0.250	0
吊時	M−最大	-4.32	204.59	-19.95		0.217	0
まして	M+最大	48.49	156.43		31.555	1.537	Х
地辰吋	M-最大	-48.25	258.57		-35.48	1.360	Х

表-4.2.7 常時耐震計算例・地震時増分 FEM 解析による応力照査

(a) ST セグメント

		М	Ν	外縁σ	内縁σ	許容or引張りσ	
	着目点	(kNm∕m)	(kNm∕m)	(N/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)	判定
常時	M+最大		夷_/ '	25(a)に同じ	۰	215	0
	M−最大		12 4.7	215	0		
地震時	M+最大	18.70	332.61	259.97	-126.607	490	0
	M-最大	-22.48	366.43	-118.4784	346.14	490	0

(b) RC セグメント

		Md	Ν	常時Mr	地震時Mud		
時点	着目点	(kNm∕m)	(kNm/m)	(kNm∕m)	(kNm∕m)	riMd/Mr riMd/Mud	判定
受時	M+最大			表 _4 2 5		0	
다니다	M−最大						0
地雪時	M+最大	50.77	297.36		36.424	1.394	Х
地辰吋	M−最大	-51.75	394.39		-39.45	1.312	Х

第4章 参考文献

- 1) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編), 2015 年版.
- 2) 土木学会関西支部(2016): 老朽化、および更生した下水道管きょの耐震設計法に関する研究 平成 27 年度報告書.
- H.D.Sharma etc (1976): Generalization of sequential analysis, IInd ASCE Int. Conf. of Numerical Methods in Geomechanics.
- J.Tohda etc. (2010): Centrifuge Model Tests on Dynamic Response of Sewer Trunk Culverts, ICPMG 2010, pp.651-656.
- 5) 大杉他 (2010): 下水道幹線カルバートの土圧と変形挙動に関する静的遠心実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.3, pp.479-497.東田淳 (2016): 弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判的考察, 71 回土木学会年講, III-068, pp.135-136.
- 6) 東田 淳, 安岡政光, 吉村 洋 (1994): 遠心模型によるシールドトンネル覆工の土圧測定, 土木学会 第49回年次学術講演会概要集, pp.1350-1351.

5. 老朽管きょおよび更生した管きょの地震時挙動

本章では、設計マニュアル¹⁾に記載された開削用鉄筋コンクリート管が老朽化した場合、並びに老朽 管きょを複合管タイプで更生した場合の管きょの地震時挙動を FEM 解析によって調べた。

5.1 地震時挙動解析モデル

地震時挙動解析モデルは、管きょ部分以外は昨年報告した内径 1000 mm の RC 管の場合²⁾と同じである。図-5.1.1、表-5.1.1 に解析モデルと入力パラメータを示す。この地震時挙動解析モデルの内容は以下の通りである。

- ・ 管きょ表面は摩擦ゼロの完全滑動条件とし、管きょ表面に引張り土圧が作用する範囲で管きょ と地盤との開口を許容した。
- ・ 埋設されて長年月を経た既設管きょでは、埋戻し土の応力状態が地山と均一化し、管の設置方 式が新設時の溝型から盛土型に移行しているものとして、埋戻し土と周辺地盤の地盤条件を同 一と仮定した。
- さらに、これまでの研究³⁴⁾によって、埋設管きょの挙動は管側深度における地盤内応力、ならびに同位置での地盤の弾性定数に支配されることが分かっているので、常時の解析の地盤条件を次のように決めた。
 - ・単位体積重量は、地表面から管側深度までの平均有効重量とした。
 - ・地盤の弾性係数は、管側深度の周辺地盤のN値を用いて $E_s=700N$ (kN/m²)とした⁵⁾。
 - ・地盤のポアソン比は、 $K_0 = 0.5$ の時の値をとってv = 1/3とした。
 - ・基床厚は30 cmとし、基床底で変位をゼロに拘束した。
 - ・静水圧は管面に作用する分布荷重として与えることができるが、今回対象とした RC 管の 埋設深さは地下水位以浅なので、静水圧は作用させなかった。
 - 地震時増分計算における地盤条件は、設計マニュアルに合わせて、S波速度から決まるせん断 弾性係数 G₀(および動的な弾性係数とポアソン比)を持つ自重なしの一様地盤とした。



表-5.1.1 入力パラメータ

	地盤の 弾性係数 E _s	地盤の ポアソ ン比	地盤の有効 平均単位 体積重量 γ	管の 外径 D	管厚 <i>t</i>	管の 弾性 係数 <i>E</i> p	管の ポアソ ン比	管の 曲げ 剛性 S _p ³⁾	管の単 位体積 重量 γ _p	ジョイン ト要素の 垂直剛性 k _n ⁴⁾	ジョイント 要素の せん断剛性 <i>k</i> s
解析時点	(kN/m^2)	$v_{\rm s}$	(kN/m^3)	(m)	(m)	(kN/m^2)	$v_{\rm p}$	(kN/m^2)	(kN/m^3)	$(MN/m^2/m)$	$(MN/m^2/m)$
常時 地震時増分	7000 ¹⁾ 24539	0.333 ²⁾ 0.493	13.032 0	1.248	0.024	14700000	0.3	81.2	23.4	10000	0

1) E_s =700N, 2) K_0 =0.5, 3) 管剛性 S_p = $[E_p \cdot t^3/\{12(1-v_p^2)\}]/R^3$, R=(D-t)/2, 4) 地震時増分の計算では管面の開口なし



図-5.2.1 代表的なコンクリート管の P~ & 曲線と劣化レベルの定義

5.2 老朽管きょの地震時挙動

既設 RC 管きょの老朽レベルが L、H、HHH に達した 3 ケースを検討対象とした。これらの管きょを 以下、老朽 L 管きょ、老朽 H 管きょ、老朽 HHH 管きょと呼ぶ。

(1) 老朽管きょの解析モデル

図-5.2.1に老朽レベルの定義を示す。この図は、内径が30cmの下水道用コンクリート2種管の管頂、 管底への集中線荷重試験⁵⁾で得られたものである。各老朽レベルの内容は以下のとおりである。

- ・ レベル L: 管頂、管底、管側に微少クラックが発生
- ・ レベル H: 荷重のピークを若干超えるが、鉄筋の破断無し
- ・ レベル HHH: 鉄筋が破断し、管体が 4 ヒンジ構造となったレベル

図-5.2.2 と図-5.2.3 に老朽管きょ周辺部のメッシュ図とジョイント要素の配置を示す。老朽 RC 管きょの解析モデルは、過去に実施した二層構造管の管体載荷試験の結果に基づいて老朽度を表した⁶。

- 図-5.2.2に示すように、管きょと地盤の間に Joint 要素 D(k_n=9.8×10⁶ kN/m²/m, k_s=0 kN/m²/m)
 を挿入して完全滑動条件とし、管きょ面で引張り土圧が作用する範囲で開口を許容した。
- ・ 図-5.2.3 に示すように、RC 管の断面に 9° ピッチで Joint 要素 C を挿入した。
- Joint 要素 C のうち、黒太線で表したものを非開口 Joint 要素とし、その要素の垂直剛性 k_nとせん断剛性 k_sの値として図-5.2.3 中に示す数値⁷⁾を与えた。
- ・ Joint 要素 C のうち、赤太線で示したものを開口 Joint 要素とし、 $k_n=0.01$ kN/m²/m, $k_s=0$ kN/m²/m を与えた。

(2) 解析結果

FEM 解析で得られた老朽 RC 管きょの垂直土圧 σと曲げモーメントの分布を図-5.2.4~図-5.2.6 に示 す。各図とも、常時を黒、地震時増分を青、両者の和として得られる地震時を赤のラインでそれぞれ表 している。

垂直土圧σの分布は、管きょ表面に挿入した Joint 要素 D の 2 つの応力点の平均を用いて求めている。 管面を完全滑動条件として k_s=0 kN/m²/m を与えたので、せん断土圧τはゼロである。また、曲げモーメ ント分布は内側引張りの場合を正として示しているが、4 層で構成される RC 管きょ要素のうち、同一 断面における最内側と最外側のガウス積分点の応力値を直線で内・外縁まで伸ばして縁応力とし、これ らから求めた曲げ縁応力に断面係数を乗じて求めている。

図-5.2.4~図-5.2.6から以下が分かる。

- ・ 老朽 HHH 管きょの土圧と曲げモーメントの分布形状は、他の老朽管きょとは常時、地震時と も大きく異なる。
- ・ 老朽 L 管きょと老朽 H 管きょの常時土圧は良く似ている。
- ・ 老朽 H 管きょと老朽 HHH 管きょの地震時増分土圧は、図-5.2.3 に示した開ロジョイント要素 C が存在する範囲でほぼゼロとなっているが、老朽 L 管きょの地震時増分土圧では、開ロジョ イント要素 C が存在する範囲がごく狭いため、このような傾向が見られない。

・ 曲げモーメント分布は、すべての老朽管きょで、開口ジョイント要素 C が存在する範囲の乱れ が大きい。

図-5.2.7は、Joint 要素 C の無い健全な RC 管きょの場合の FEM 解析結果⁸を示している。この図-5.2.7 の健全な管きょと図-5.2.4 に示した老朽 L 管きょの解析結果の比較から、以下が分かる。

- ・ 健全な RC 管きょと老朽 L 管きょの土圧分布は、ほぼ一致している。
- ・ 老朽 L 管きょでは、管頂・管底部と管側部の曲げモーメントに乱れが生じているが、それ以外 の範囲では、健全な RC 管きょの曲げモーメントとほぼ一致している。
- ・ 老朽L管きょで曲げモーメントが乱れている領域は、前述のように管きょ断面が開口する条件 を与えた領域(図-5.2.3参照)と一致しており、これらの領域では平面保持の条件が満足されな いため、このような曲げモーメントの乱れが生じていることを確認した。
- したがって、老朽H管きょで曲げモーメント分布が乱れている領域、および老朽HHH管きょのすべての領域でも、老朽L管きょと同様に、開ロジョイント要素Cの存在によって平面保持の条件が満足されないため、図-5.2.5と図-5.2.6に示した曲げモーメントの乱れが生じたと判断した。
- ・ さらに、これらの領域で老朽 H 管きょと老朽 HHH 管きょの地震時増分土圧がほぼゼロになっ たのも、管きょ断面の開口の影響によると判断した。

図-5.2.8 は解析で得られた老朽 RC 管きょの最大内空たわみ量(伸び,縮み)と最大たわみを生じた 位置の角度(管頂から右回り)を常時,地震時増分,地震時について示している。地震時の内空たわみ 量は,常時と地震時増分の和の最大値を示している。

図-5.2.8から以下が分かる。

- ・ どの老朽管きょでも、常時の最大たわみ量の方が地震時増分の最大たわみ量よりも大きい。
- ・ 老朽管きょの最大たわみ量は、常時、地震時増分、地震時のすべての時点において、管きょの 老朽レベルが高いほど大きい。
- すなわち、老朽管きょでは劣化の進行につれて最大たわみ量が増大し、常時、地震時とも不安 定さが増大する。
- ・ 地震時の最大たわみ量は、老朽 L、H、HHH 管きょでそれぞれ 0.1 %、0.3 %、0.8 %程度である。

図-5.2.9~図-5.2.11 は解析で得られた地盤と管きょの変形図である。図-5.2.9(a) (b) はそれぞれ老朽 L 管きょの常時と地震時増分の変形図(全体図と管きょ周辺部)である。図-5.2.10 と図-5.2.11 は老朽 H 管きょと老朽 H H 管きょの常時と地震時増分の管きょ周辺部の変形図である。

図-5.2.9~図-5.2.11から以下が分かる。

- ・ 常時では、老朽 L 管きょと老朽 H 管きょは楕円状に変形しているが、老朽 HHH 管きょはこれ らとは異なって扁平な六角形に変形している。
- ・ 地震時増分では、どの老朽管きょも変形の対称軸が時計回りに傾いて楕円状に変形している。
 変形度合いは管きょの老朽レベルが高いほど大きい。



図-5.2.2 老朽管きょ付近のメッシュ



 図-5.2.3 Joint 要素 C の開口ジョイントと非開口 Joint 要素の位置 (図中の数値は非開口ジョイントの k_nと k_sの値を表す)



(a) 土圧分布

図-5.2.4 老朽L管きょの解析結果



図-5.2.5 老朽 H 管きょの解析結果



(a) 土圧分布





図-5.2.7 健全な RC 管きょの FEM 解析結果



図-5.2.8 老朽 RC 管きょの内空たわみ量



管周辺(変位 50 倍) 図-5.2.9(a) 老朽 L 管きょの変位図(常時)



管周辺(変位 50 倍) 図-5.2.9(b) 老朽 L 管きょの変位図(地震時増分)



地震時増分(変位 50 倍) 図-5.2.10 老朽 H 管きょの変位図



地震時増分(変位 50 倍) 図-5.2.10 老朽 HHH 管きょの変位図
5.3 更生した管きょの地震時挙動

老朽レベルが L、H、HHH の老朽 RC 管きょの内側に更生材(PS 管とモルタル)を挿入した複合管タイ プの更生管きょの地震時挙動を FEM 解析によって調べた。これらの管きょをそれぞれ更生 L 管きょ、 更生 H 管きょ、更生 HHH 管きょと呼ぶ。

(1) 更生した管きょの解析モデル

図-5.3.1 と表-5.3.1 に管きょ周辺部のメッシュ図と入力定数を示す。更生管きょの仕上がり内径は 900 mm である。管底接合形式なので、管底のモルタル厚さは 1.5 mm、管頂のモルタル厚さは 55.5 mm である。

以下、このモデルについて説明する。

- PS 管は、厚さ 21.5mm の塩ビ製 PS 材(#79S、E=2350 N/mm²、I=30506 mm⁴/79 mm)をらせん状に嵌合して円管としたものである。PS 管の E は、PS 材断面の凹部に充填されるモルタルを無視して算定した。
- ・ PS 管とモルタルの境界、ならびにモルタルと既設管きょの境界には、 $k_n=1.0 \times 10^{15} \text{ kN/m}^2/\text{m}$, $k_s=0 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ の Joint 要素 A、B をそれぞれ挿入し、開口無しの完全滑動条件を与えた。
- ・ この Joint 要素 A、B の $k_n \ge k_s$ の値は、過去に実施した複合管タイプの更生 RC 管きょの管 体載荷実験 ⁹⁾に基づいて決めた。

(2) 解析結果

更生した管きょの解析結果を図−5.3.2(更生L管きょ)、図−5.3.3(更生H管きょ)、図−5.3.4(更生HHH 管きょ)に示す。各図とも、常時を黒、地震時増分を青、地震時を赤のラインでそれぞれ表している。土 圧分布は老朽管きょの場合と同じく、管きょ表面に挿入した Joint 要素 D の平均応力値である。曲げモ ーメントは外側の老朽管きょに生じたものを、前節と同じ方法で算定している。

この更生管きょの結果(図-5.3.2~図-5.3.4)を老朽管きょの結果(図-5.2.4~図-5.2.6)と比較すると 以下が分かる。

- ・ 図-5.3.2 に示した更生 L 管きょの土圧と曲げモーメントの分布は図-5.2.4 に示した老朽 L 管 きょの土圧と曲げモーメントの分布によく似ている。
- ・ 図-5.3.3 に示した更生 H 管きょの土圧と曲げモーメントの分布は、図-5.2.5 に示した老朽 H 管きょの分布と似ているが、地震時増分と地震時の分布は管頂付近が少し異なっている。
- ・ 図-5.3.4 に示した更生 HHH 管きょの土圧と曲げモーメントの分布は、図-5.2.6 に示した老朽 HHH 管きょの分布とは上半分が異なっている。
- 更生 HHH 管きょの地震時増分土圧は管きょの右肩に集中する傾向がある。これは、更生 HHH 管きょでは外側の既設管きょがほとんど剛性を失っているものの、管上部ほど内部のモルタル 層が厚くなるので、剛性がある程度確保されるためと考えられる。

更生管きょの最大たわみ量を図-5.3.5 に示す。図-5.2.8 に示した老朽管きょの最大たわみ量と図-5.3.5 の更生管きょの最大たわみ量の比較から以下が分かる。

- ・ どの更生管きょでも、老朽管きょと同様に、常時の最大たわみ量の方が地震時増分の最大たわ み量よりも大きい。
- ・ 更生管きょの最大たわみ量は、常時,地震時増分,地震時のすべての時点において、既設管きょの老朽レベルが高いほど大きい。
- ・ 更生L管きょの最大たわみ量は、どの時点でも老朽L管きょとほぼ同じである。
- ・ 更生 H 管きょと更生 HHH 管きょの最大たわみ量は、どの時点でも老朽 H 管きょと老朽 HHH 管きょよりも 7 割程度小さい。
- ・ 地震時の最大たわみ量は、更生L、H、HHH 管きょでそれぞれ 0.1%、0.2%、0.5%程度である。

図-5.3.6~図-5.3.8 は解析で得られた地盤と管きょの変形図である。図-5.3.6(a) (b) はそれぞれ更生 L 管きょの常時と地震時増分の変形図(全体図と管きょ周辺部)である。図-5.3.7 と図-5.3.8 は更生 H 管 きょと更生 HHH 管きょの常時と地震時増分の管きょ周辺部の変形図である。

更生管きょの図-5.3.6~図-5.3.8と老朽管きょの図-5.2.9~図-5.2.11の比較から、管きょの変形について以下が分かる。

- ・ 常時では、既設管きょの老朽レベルが HHH の場合、老朽管きょと更生管きょの変形は上半分 でかなり異なっているが、既設管きょの老朽レベルがLとHでは、老朽管きょと更生管きょの 変形は定性的に良く似ている。
- ・ 地震時増分では、既設管きょの老朽レベルに拘わらず、老朽管きょと更生管きょの変形は定性 的に良く似ている。
- ・ 更生管きょの地震時増分では、管きょ上部で PS 管とモルタルの間、およびモルタルと既設管 きょの間で滑りが生じており、ずれ量は既設管きょの老朽レベルが高いほど大きい。



図-5.3.1 更生管きょ周辺部のメッシュ図

	$E (kN/m^2)$	V	$\gamma (kN/m^3)$
PS 管	1.0957×10^{6}	0.38	14.014
モルタル	6.6×10^{6}	0.25	13.0
RC 管きょ	3.3×10^{7}	0.167	24.0
1.	3500(常時)	0.333(常時)	17.94
工	24538.72(地震時増分)	0.493(地震時増分)	0.0*

表−5.3.2 入力定数(更生管きょの解析モデル)

*地震時増分では重力は作用させず、地盤側方と地表面に強制変位を与えた。













(b) 曲げモーメント分布





図-5.3.5 更生管きょの内空たわみ量



図-5.3.6(a) 更生L管きょの変位図(常時)



管周辺(変位 50 倍) 図-5.3.6(b) 更生 L 管きょの変位図(地震時増分)



図-5.3.7 更生 H 管きょの変位図



地震時増分(変位 50 倍) 図-5.3.8 更生 HHH 管きょの変位図

5.4 考察

通常の更生施工で対象となるのは老朽レベル L(管頂、管底、管側に微少クラックが発生しているが、 鉄筋は破断していないレベル)の既設管きょであり、それ以上に劣化した既設管きょは更生対象にならな いのが一般的である。これを踏まえると、老朽管きょと更生管きょの FEM 解析の結果から以下が言え る。

- ・ 更生管きょの最大たわみ量を示した図-5.3.5の結果は、更生L管きょの外側の既設管きょの劣 化レベルが時間経過に伴ってLレベルからHレベル→HHHレベルへと進行する場合の更生管 きょのたわみ量の変化と捉えることができる。
- ・ 更生 H 管きょと更生 HHH 管きょの最大たわみ量がどの時点でも老朽 H 管きょと老朽 HHH 管 きょよりも小さいことは、更生による耐荷力の向上を定性的に表すと考えられる。
- ・ 更生による効果をより正確に把握するためには、今回の解析で扱わなかった強度に対する応力 照査が必要である。

第5章 参考文献

- 1) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編), 2015 年版.
- 2) 土木学会関西支部(2016): 老朽化、および更生した下水道管きょの耐震設計法に関する研究 平成 27 年度報告書.
- 3) 島津多賀夫 (2010): 斜掘り溝型方式で設置される埋設管の力学挙動と設計法に関する研究, 大阪市 大学位請求論文.
- 4) 吉村洋 (1998): たわみ性埋設管の力学挙動と設計法に関する研究, 大阪市大学位請求論文.
- 5) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), p.162 図-3.2.4, p..173 図-3.2.13, 地盤工学会.
- 6) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), pp.159~160,,地盤工学会.
- 7) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), p.164, 地盤工学会.
- 8) 島津他 (2016):提案設計法と現行設計法によって予測した RC 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学 会年講, III-070, pp.139-140.
- 9) 老朽化した埋設カルバートの復旧に関する研究委員会(2013): 既設および更生した管きょの力学挙動と設計に関する技術資料(案), pp.167~176,,地盤工学会.

6. 地震による地盤変位と地盤剛性の不均一性の影響

他の地中構造物に比べて埋設深度が比較的浅い下水道管きょは、不均一な土層中に低い地中応力状態 で埋設されることが多いので、下水道管きょを含む各種耐震設計基準で仮定される均一地盤の共振一次 モードの地震時地盤変形は下水道管きょにとって危険側の予測結果をもたらす可能性が高い。そこで本 章では、設計マニュアル¹¹に示されたタイプIモデル地盤の基盤に神戸海洋気象台 EW 成分波 II-1-2(以下、神戸地震波と呼ぶ)を与えて重複反射理論による一次元応答解析を実施し、管きょ埋設深度に おける最大相対変位発生時点の管きょの土圧と断面力を弾性 FEM に基づく提案設計法によって求め、 同波形の応答スペクトルから求めた応答速度を持つ均一地盤の共振一次モードにおける管きょの挙動 と比べた。

6.1 応答解析による地盤変位と地盤定数の算定

(1) 解析手法

図-6.1.1に地盤応答解析に用いた神戸地震波を示す。この地震波を選んだ理由は以下のとおりである。

- ・ 道路橋示方書²⁾に公開され一般によく利用されていること
- ・ 地表面の観測記録であるが、基盤相当の1種地盤の測定結果なので、基盤入力波として使用可能と判断できること

図-6.1.2 に神戸地震波の応答速度スペクトルを下水道耐震指針とともに示す。設計マニュアルに示さ れたタイプ I モデル地盤の固有周期 T_s は 1.412 sec で、同図からこの T_s に対する神戸地震波の応答速度 S_v は 1.5 m/s となり、下水道指針の S_v =0.8 m/s よりも 2 倍程度大きいことが分かる。

応答解析には一次元重複反射理論に基づく SHAKE(ソフト名 LIQUEUR)を用いた。地盤定数は以下の 通り与えた。

- ・ 各層の G_0 は下水道指針に合わせて、粘性土、砂質土に対して $V_s = 100N^{1/3}$ 、 $V_s = 80N^{1/3}$ を $G_0 = \rho V_s^2$ にそれぞれ代入して求めた。
- 減衰定数の初期値 h₀は通常用いられている 0.03 を与えた。
- ・ 各層の G と h のひずみ依存性は建設省土木研究所資料³⁾による方法で考慮し、いずれも収束計 算の誤差が 5%以内となった時点で計算を打ち切った。
- ・ 地盤の深さ方向の分割数は、分割数を 9~150 分割で 4 通りに変えた解析を行い、49 分割以上 で地盤の水平変位量の収束が確認できたので、この分割数に管きょの上下端を加えた分割数と した。

(2) 応答解析の結果

図-6.1.3に応答解析で得られた G と h の収束値の分布を初期値と併せて示す。この図から以下が分かる。

- · Gの収束値は砂質土の方が粘性土よりも小さい。
- ・ hの収束値は砂質土の方が粘性土よりも大きい。

表層から G.L.-2 m までの砂質土の G と h の収束値は、地表面の境界条件(y=0)の影響を受けて段階的に変化している。

応答解析で得られた地盤の水平変位分布を図-6.1.4 に示す。赤と青のラインが、埋設管きょの上下端の相対変位量が最大となった時点の分布で、赤ラインが RC 管とボックスカルバート(両者は一致)、青ラインが FRPM 管の場合である。また、同図の黒ラインは、*S*_v=1.5 m/s を用いて求めた共振一次モードの地盤の水平変位分布を示している。

応答解析で得られた各管きょの上下端における最大相対変位量を共振一次モードの相対変位量と併 せて表-6.1.1 に示す。応答解析で相対変位量が最大となった時点は、RC 管とボックスカルバートでは *t*=5.54 sec で一致したが、FRPM 管は *t*=5.52sec でこれらとは少しずれていた。

図-6.1.4 と表-6.1.1 から以下が分かる。

- ・ 管きょの上下端の相対変位量が最大となった時点の地盤変位分布は上方と下方で向きが逆 になっており、地盤は全体にしなるように変形している。
- · 一次モードの水平地盤変位は、応答解析で得られた相対変位に比べて全体に大きい。
- ・ しかし、一次モード地盤変形の場合、管きょ上下端の相対変位量は、**表-6.1.1**に示すように 応答解析で得られた値よりも小さい。
- よって、一次モードの水平地盤変位が管きょに与える影響は、応答解析で得られた管きょの 相対変位最大の場合よりも小さいと推定される。



時間 (s)

図-6.1.1 神戸海洋気象台 EW 成分波(Ⅱ-1-2)



図-6.1.2 神戸海洋気象台 EW 成分波(II-1-2)と下水道指針の応答速度スペクトル



図-6.1.3 G と h の初期値と収束値の分布



図-6.1.4 応答解析と共振一次モードの地盤変形

表-6.1.1 応答解析と共振一次モードの相対変位量

		相対変位量		
	上下端深度	応答解析	一次モード	
管種	(m)	(cm)	(cm)	
RC管	2.00~3.16	2.13	0.51	
FRPM管	5.00~6.25	1.65	1.20	
矩形きょ	1.50~5.40	3.47	2.31	

- 6.2 健全な RC 管きょの地震時挙動
- (1) 解析結果
- (2) 地盤変位と地盤剛性の影響
- 6.3 健全なボックスカルバートの地震時挙動
- (3) 解析結果
- (4) 地盤変位と地盤剛性の影響

第6章 参考文献

- 1) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編), 2015 年版.
- 2) 日本道路協会 (2012): 道路橋示方書·同解説.
- 3) 建設省土木研究所 (1982): 地盤の地震時応答特性の数値解析法, 土木研究所資料第 1778 号.

4)

6.2 健全な RC 管とボックスカルバートの地震時挙動

前節 6.1 で求めた不均一地盤・管きょの最大相対変位発生時点の水平地盤変位と均一地盤・一次モード水平地盤変位の2つの条件で、健全な RC 管とボックスカルバートの土圧と断面力を提案設計法によって求め、両者の比較から現行設計法が採用している均一地盤・一次モード地盤変形の仮定が管きょにとって危険側かどうかを調べた。

この節では、均一地盤・一次モード水平地盤変位を与えた場合を Case a、不均一地盤・管きょの最大 相対変位発生時点の水平地盤変位を与えた場合を Case b とそれぞれ呼ぶことにする。

(1) 解析条件

常時の計算は、RC 管は昨年度報告書、ボックスカルバートは4章に示した通りである。地震時増分の計算の地盤の入力パラメータを除き、管きょの寸法と材料定数、ジョイント要素の値、管面の境界条件は、常時・地震時増分ともに、これまでと同様である。

RC 管とボックスカルバートの地震時増分計算に用いた Case b (不均一地盤・応答解析による地盤変形)の解析モデルを図-6.2.1、図-6.2.2に示す。同図には、各層の E_D の値を示してある。なお、Case a (均一地盤・一次モード変形)の場合の E_D と v_D の値はそれぞれ E_D =24539 kN/m²、 v_D =0.493 である。

この地震時増分計算に用いた Case b の解析モデルを以下、説明する。

- 設計マニュアル¹⁾に示されたタイプIモデル地盤を用いた。
- ・ 各層の *E*_Dの値は、前節 6.1 で述べたように、*G*の収束値から *E*_Dを設定した。
- ・ 各層の b は、設計マニュアル¹⁾に準じ、地下水位(G.L.-3.3 m)以浅では 0.45、地下水位以深 では 0.5(計算の関係から実際には 0.499)とした。
- 上から2層目の砂層(G.L.-0.5 m~-3.3 m)の上部1m(G.L.-0.5 m~-1.5 m)では、前節6.1の
 図-6.1.3に示したようにGの収束値が大きく変化したため、50 cmごとにEpを変えた。
- ・ この部分以外の層では ED の変化がごく小さいため、次式により層厚平均によって ED を求めた。

 $E_{\text{Di}} = 2 \quad (1 + v_{\text{Di}}) \quad G_{\text{i}}$ $E_{\text{D}} = \sum (E_{\text{Di}}H_{\text{i}}) / \sum H_{\text{i}}$

ここに、E_{Di}: 地震応答解析の各層の収束剛性 G から求めた弾性係数
 v_{Di}: ポアソン比(耐震設計例に従い、地下水位以上 0.45、地下水位以下 0.5)
 G_i: 地震応答解析の各層の収束剛性 G
 H_i: 地震応答解析の各層の層厚

(2) RC 管の解析結果

図-6.2.3 に RC 管に作用する垂直土圧σと発生する曲げモーメント *M* の分布を示す。図-6.2.3(a)が Case a (均一地盤・一次モード変形)の場合、図-6.2.3(b)が Case b (不均一地盤・応答解析による地盤 変形)の場合である。いずれも、圧縮σ、内側引張り *M* を正としている。

この図から以下が分かる。

・ 地震時増分 σ と地震時 σ は、Case a、Case b とも第1象限と第3象限に集中する。

- ・ 第1象限の地震時増分と地震時の σ_{max} は Case a の方が Case b よりも大きい。
- ・ 第3象限の地震時増分と地震時の σ_{max} はそれほど変わらないが、 σ_{max} を生じる位置は Case b の方が Case a よりも管底に近い。
- ・ 両 Case とも、地震時には第2象限と第4象限で開口する。
- ・ 両 Case の地震時増分 M および地震時 M の分布は良く似ており、第2象限、第4象限で管きょ が膨らむように変形することを示す。
- ・ 地震時の *M*_{max} は、Case a が 9.2 kN/m、Case b が 8.8 kN/m で、5 %程度のわずかな差であった。
- ・管頂・管底深度の地盤の相対変位は、前節の表-6.1.1に示したように、Case b (不均一地盤・ 応答解析による地盤変形)の方が Case a (均一地盤・一次モード変形)よりも大きい。これにも 拘わらず、Case b の第1象限の地震時増分と地震時の σ_{max} が Case a よりも小さく、また両 Case の M_{max}に違いがほとんどないのは、Case b の管の周囲地盤の剛性が Case a よりもかなり小さ いことによる。

(3) ボックスカルバートの解析結果

図-6.2.4 と図-6.2.5 はボックスカルバートに作用する垂直荷重の、ボックスカルバートに発生する曲 げモーメント *M* と軸力 *N* の分布を示す。図-6.2.4 が Case a (均一地盤・一次モード変形の場合)、図-6.2.5 が Case b (不均一地盤・応答解析による地盤変形)の場合である。いずれも、圧縮の、内側引張り *M*、圧 縮 *N* を正としている。

- ・ 地震時増分のおよび地震時のは、Case a、Case b とも、ボックスカルバートの右肩に集中し、 右下部と左肩では開口している。
- Case b の左側壁下部の地震時増分のおよび地震時のは下端部を除いて等分布に近く、これだけ が他と傾向が異なっている。
- Case b の左側壁下部の特異なσ分布は、側壁下部の E_D (=47332 kN/m²)が側壁の上半分の E_D (=3383 kN/m²)よりも14倍ほど大きいためと解釈できる。また、左側壁の最下端で見られる地 震時増分σおよび地震時σの急激な低下は、カルバート下部 20 cm の範囲の E_D (=6750kN/m²)が 上部の E_D の 1/7 とごく小さいためと解釈できる。
- ・ 地震時増分 *M* および地震時 *M* の分布は、Case a、Case b とも、各辺がよじれながら全体として左方向に傾く平行四辺形に近い形にボックスカルバートが変形することを示す。
- ・ 左側版の上隅角部の M は、Case b の方が Case a よりもかなり大きいが、これを除くと、ボッ
 クスカルバートの上半分の M の分布は両ケースで良く似ている。
- 一方、ボックスカルバートの下半分の*M*は全体に Case a の方が Case b よりもかなり大きく、 これは硬い地盤による変形拘束の効果によると考えられる。
- 上床版と底版の地震時増分 N および地震時 N は、上床版では Case b の方が、底版では Case a の方がそれぞれ大きい。また、Case a、Case b とも左側ほど N が増えているのは慣性力の影響によるものである。

図-6.2.6 と図-6.2.7 は地震時増分解析で得られた地盤とカルバートの変形である。図-6.2.6 が Case a (均一地盤・一次モード変形の場合)、図-6.2.7 が Case b (不均一地盤・応答解析による地盤変形)の場合である。

この変形図から、以下が分かる。

・ **両** Case とも、カルバートの左上隅角部と右下隅角部で地盤との間に隙間が生じている。

- Case b では、左側版上部の開口量は Case a よりも大きく、また右側版下部の開口範囲が Case a よりも広い。
- 図-6.2.6と図-6.2.7に示した Case a、Case bの地盤とカルバートの変形の相違は、Case bにおいて、カルバートの上半分の柔らかい地盤の相対水平変位量が Case a よりも大きいこと、およびカルバートの下半分で硬い地盤による変形拘束の程度が大きいことの両者によって生じていると考えられる。
- この変形の相違が、図-6.2.4 と図-6.2.5 に示した Case a、Case b の地震時におけるσと断面 力の相違を引き起こしたものと解釈できる。

Case a (均一地盤・一次モード変形の場合)と Case b (不均一地盤・応答解析による地盤変形)の断面 照査結果を表-6.2.1、表-6.2.2 に示す。また、両 Case の *r_iM_d/M_{ud}* 値の比較を図-6.2.8 に示す。なお、 常時の結果は両 Case で共通である。

この断面照査の結果から以下が分かる。

- ・ Case a では、地震時に上床版の左ハンチ部で $r_iM_d/M_{ud} = 1.003$ となり、破壊する結果となった。
- ・ Case b では、地震時に上床版の左ハンチ部で $r_iM_d/M_{ud} = 1.023$ 、左側版の上ハンチ部で r_iM_d/M_{ud} = 1.083 となり、破壊する結果となった
- 左側版の上ハンチ部の r_iM_d/M_{ud}の値は、Case b が Case a に対して 1.37 倍 (=1.083/0.790)となった。したがって、今回の事例では、Case b における不均一地盤・応答解析による地盤変形の条件は Case a における均一地盤・一次モード変形の条件に比べて、ボックスカルバートにとってかなり危険側の結果をもたらすことが分かった。

(4) 地盤変形と地盤剛性の影響

応答解析によって求めた地盤変形と地盤剛性の不均一性の影響を調べ、今回扱ったボックスカルバー トのように剛性の異なる地盤を跨いで埋設される管きょでは、現行耐震設計法が仮定する一次モードの 地盤変形と均一な地盤剛性の条件は管きょに生じる断面力を過小評価する場合があることを明らかに した。したがって、重要地中構造物では今回用いた解析手法と解析結果を参考にして、より実態に即し た慎重な耐震設計を実施すべきと思われる。

第6章 参考文献

- 1) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編), 2015 年版.
- 2) 日本道路協会 (2012): 道路橋示方書·同解説.
- 3) 建設省土木研究所 (1982): 地盤の地震時応答特性の数値解析法, 土木研究所資料第 1778 号.





図-6.2.2 ボックスカルバートの解析モデル(Case b)



⁽b) Case b (不均一地盤・応答解析)

図-6.2.3 RC 管の垂直土圧 σと曲げモーメント M の分布



図-6.2.4 ボックスカルバートの垂直荷重σと断面力の分布 (Case a: 均一地盤・一次モード)



図-6.2.5 ボックスカルバートの垂直荷重σと断面力の分布 (Case b: 不均一地盤・応答解析)



E_D=24539 (kN/m²), v_D=0.493, 変位スケール:実寸の10倍

図-6.2.6 地震時増分解析で得られた地盤変形 (Case a: 均一地盤・一次モード)



(b) カルバート周辺拡大図

E_Dは図-6.2.2参照。v_D=0.45(地下水位より上),0.50(地下水位より下)。変位スケール:実寸の10倍。

図-6.2.7 地震時増分解析で得られた地盤変形 (Case b: 不均一地盤・応答解析)

		表-6	.2.1 Ca	ise a の関	所面照查結果	÷		
①上床版	ā							
		Md	N	常時Mr	地震時Mud			
時点	着目点	(kNm/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kNm∕m)	riMd/Mr	riMd/Mud	判定
常時	左ハンナ	-16.516	35.811	-62.055		0.266		0
	<u>ーロハンテ</u> たハンチ	-157.369	35.811 91.871	-02.000	-156.853	0.200	1.003	×
地震時	右ハンチ	107.456	71.037		158.950		0.676	ô
②下床版	i i							
nt E	쑫 ㅁ 上	Md	N	常時Mr	地震時Mud			dal 📥
<u></u>	1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日	(KNm/m)	(KNm/m) 84 308	(KNm/m)	(KNm/m)	n 302	riMd/Mud	<u>刊正</u>
常時	部材右内側	-42.662	84.308	-141.212		0.302		ŏ
林雷吐	部材左内側	116.455	170.653		383.831	0.002	0.303	ŏ
地辰吁	部材右内側	-232.672	148.215		-328.527		0.708	0
<u>③</u> 石側壁		MJ	N	一些 中 小	地雷哇叭叫			
時占	善日占	(kNm/m)	(kNm/m)	吊吁Mr (kNm/m)	地辰时Mud (kNm/m)	riMd/Mr	riMd/Mud	判定
	上ハンチ	-40.920	124.267	-99.315		0.412	nind/ mad	0
吊時	部材下内側	-76.589	156.859	-157.484		0.486		õ
地震時	上ハンチ	111.639	129.346		237.960		0.469	0
ALC (DC HI)	部材下内側	-239.728	162.246		-330.894		0.724	0
④士伽麟	z							
一世间空	<u>.</u>	Md	N	堂時Mr	地 震時Mud			
時点	着目点	(kNm/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	riMd/Mr	riMd/Mud	判定
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	上ハンチ	-40.920	124.267	-99.315		0.412		0
	部材下内側	-76.589	156.859	-157.484		0.486		0
币吋	トハンエ	-170520	130 044		-215.848		0.790	0
· 市时 · 地震時	エハノナ 如井エカ側	100.017	100.710		000.001		0 0 0 0	\sim
 地震時	部材下内側	102.617	163.718		398.091	1	0.258	0
 也震時 ①上床版	部材下内側	102.617 表-6	<u>163.718</u>	ise b の迷	398.091 所面照査結果	1	0.258	0
	部材下内側	170.320 102.617 表-6 Md	163.718 . 2. 2 Ca	ise bの幽 常時Mr	398.091 所面照査結果 地震時Mud	1	0.258	0
 也震時 ①上床版 時点	新材下内側	170.320 102.617 表-6 Md (kNm/m)	. 2. 2 Ca	ise bの問 常時Mr (kNm/m)	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr	0.258	 判定
 也震時 ①上床版 常時	エハンチ 部材下内側 着目点 左ハンチ	1/0.320 102.617 表-6 <u>Md</u> (<u>kNm/m</u>) -16.516	163.718 . 2. 2 Ca N (kNm/m) 35.811	se b の歯 常時Mr (kNm/m) -62.055	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266	0.258	 判定
 也震時 ①上床版 常時	エハンテ 部材下内側 着目点 左ハンンチ オ	Md (kNm/m) -16.516	163.718 . 2. 2 Ca (kNm/m) 35.811 35.811	se b の 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266	0.258	 判定 ○
市 市 地震時 ①上床版 常時 地震時	エバレ 部材下内側 着シンチ 右 左ハンンンチ ち ち	Md (kNm/m) -16.516 -166.074 -14.24	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399	riMd/Mr 0.266 0.266	0.258 • riMd/Mud 1.023 0.520	
市 地震時 ①上床版 常時 地震時	エハンテ 部材下内側 着目点 左ハンチ 右ハンチ 右ハンチ 右ハンチ	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424	N (kNm/m) 35.811 130.311 112.720	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055	398.091 所面照査結界 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959	riMd/Mr 0.266 0.266	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520	〇 判定 〇 〇 〇 〇
市 市 地震時 ①上床版 1 1 市時 市 市時 1 地震時 2	エハンテ 部材下内側 着目点 左ハンチ 右ハンチ 右ハンチ 右ハンチ	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424	N (kNm/m) 35.811 130.311 112.720	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959	riMd/Mr 0.266 0.266	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520	0 判定 0 × 0
市 市 地震時 ①上床版 常時 地震時 ②下床版	エハンテ 部材下内側 着目点 左ハンチ 右ハンチ 右ハンチ	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md	N (kNm/m) 35.811 130.311 112.720	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 常時Mr	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud	riMd/Mr 0.266 0.266	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520	0 判定 0 × 0
市 市 地震時 ①上床点 1 上床点 常震時 一 地 2 下時点 版	エハンテ 部材下内側 着 手 たハンンチ 右ハンチ 右ハンチ 右ハンチ 着 に 、 ・	Md (kNm/m) -16.516 -16.074 91.424 Md (kNm/m)	N (kNm/m) 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m)	Rebの時 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 常時Mr (kNm/m)	398.091 ff面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud	
市 地震時 ①上床点 常時 地震時 ②下床点 常時 ②下床点 常時	 コンチ 部材下内側 着した 着シンチ 右ハンンチ 右ハンチ 右ハンチ 着した 市材 市 市 市 小 	Md (kNm/m) -16.516 -16.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055	398.091 ff面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud	
市 市 地震時 ①上床点 1 上床点 常 市 地震時 ②下床版 ②下床点 常時 二 市	上部 左右左右 方 市 <t< td=""><td>Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662</td><td>N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308</td><td>常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 常時Mr (kNm/m) -141.212 -141.212</td><td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m)</td><td>riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302</td><td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud</td><td></td></t<>	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 常時Mr (kNm/m) -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud	
市 市 地震時 ①上時常 1 上時常 1 地震時	- - - - - - - - - - - - - -	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 -40.307 -150.908	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366 595	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412	
市 市 地震時 1 1 市 市 市 日	- 部材下内側 着 た 石 た た れ 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 40.307 -150.908	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.1055 -62.105 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412	
市 地震時 1 上時常震時 1 市市 地市 1 市市 市市 市市 市市 市市 市市 1 <td> エバンデ 部材下内側 着目点 着レチチ 右ハンンチ 右ハンンチ 着太内側 部材右右内側 部材右内側 </td> <td>Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 40.307 -150.908</td> <td>N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044</td> <td>常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.1055 -62.105 -141.212 -141.212</td> <td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595</td> <td>riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302</td> <td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412</td> <td></td>	 エバンデ 部材下内側 着目点 着レチチ 右ハンンチ 右ハンンチ 着太内側 部材右右内側 部材右内側 	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 40.307 -150.908	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.1055 -62.105 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412	
市時 1	- 部材下内側	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 40.307 -150.908 Md	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412	○ 判定 ○ × ○ 1 ○ ○ ○
市 田 地 ① 上 時常 一 上 市常 震 地 下 時 市 1 上 市 市 1 上 市 市 1	- 部材下内側 着 た 右 た 方 た 方 た た た た た た た た た た た た た	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 40.307 -150.908 Md (kNm/m)	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m)	se b の 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302 riMd/Mr	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud	
市 市 地震時 1 地震時 1 上時常震時 1 地 下時常震・ 地 1 市 市 1 1	 エバレディー 部材下内側 着ンンンチ 着シンチチ 着左右左右方内内側 部材材材右右方内側 高 エバレア 	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -150.908 Md (kNm/m) -150.908	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud	
市 1 <	上部 左右左右 第 第 方下内 前 着ンンンンン 着 着シンシンン 着 着シンシンシン 着 方方方 有 月チチチチチ 月 月 月 点 月 月 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 </td <td>Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 40.307 -150.908 Md (kNm/m) -150.908</td> <td>N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859</td> <td>常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212</td> <td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m)</td> <td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td> <td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud</td> <td></td>	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 40.307 -150.908 Md (kNm/m) -150.908	N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud	
市 市 地震時 ① 上時常震味 市 市 市 <	上部 左右左右 方下内側 「 方下内 着ンンンンン 着ンンンンンン 着左右左右 前部部部部 上部上部 上部 上部 上部 人下	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 40.307 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170 743	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 84.308 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.05 -62	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498	
市 市 地震時 ① 1 時 市 市 日	 ・ ・ ・	1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 40.307 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743	N (kNm/m) 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -111.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498	
市 回 1 1 1 </td <td>上部材下内側 広村下内側 着ンンシチチ 目チチチチ 方方内 着左右左右 部部材材 着左右左右 部部材材 自チチチ 「日チチチ 「日チ 「日チ 月 「日チ 「日 <t< td=""><td>1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743</td><td>N K (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 147.629</td><td>常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.05 -62.0</td><td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800</td><td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td><td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498</td><td></td></t<></td>	上部材下内側 広村下内側 着ンンシチチ 目チチチチ 方方内 着左右左右 部部材材 着左右左右 部部材材 自チチチ 「日チチチ 「日チ 「日チ 月 「日チ 「日 「日 <t< td=""><td>1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743</td><td>N K (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 147.629</td><td>常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.05 -62.0</td><td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800</td><td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td><td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498</td><td></td></t<>	1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743	N K (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 147.629	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.05 -62.0	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498	
市 田 1 1 1 </td <td>1 部材下内側 二 市 点 二 着 二 方 市 着 二 市 二 着 二 市 二 着 二 市 二</td> <td>1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743</td> <td>N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629</td> <td>se b の) 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -111.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484</td> <td>398.091 fm面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud</td> <td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td> <td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498</td> <td></td>	1 部材下内側 二 市 点 二 着 二 方 市 着 二 市 二 着 二 市 二 着 二 市 二	1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743	N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629	se b の) 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -111.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484	398.091 fm面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 riMd/Mr 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498	
市 (1) (1) 地 上時常 (1) 小 上時常 (1) 小 小 (1) 小 (1) (1) 小	1部材下内側 広右左右 着ンシンシンシチ 目チチチチチ 自チチチチチ 自チチチチチ 自チチチチチ 自チチチチチ 自チチチチチ 自チチチチチ 自チチチチチ 上部材材材 加水 1日チ 上部	1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743 Md (kNm/m)	N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629	se b の) 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484	398.091 fm面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud	
市 ① ① ① 地 ① 二 時 上 時 常 一 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 市 日 市 市 市 日 市 市 市 日 市 市 市 日 日 市 市 日 日 日 市 日 </td <td>1部材下内側 二方内下内側 方材下内側 着シンシンシテチ 着方子チチチチ 目チチチチチチ 着左右左右 部部部部部 上部大大チャチ 「お材材材材材 上部 「おすた」 「お</td> <td>Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -42.652 81.854 -150.908 81.854 -170.743 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743</td> <td>N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 N (kNm/m) 124.267</td> <td>常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484 常時Mr (kNm/m) -99.315 -157.484</td> <td>398.091 fm面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)</td> <td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td> <td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud</td> <td></td>	1部材下内側 二方内下内側 方材下内側 着シンシンシテチ 着方子チチチチ 目チチチチチチ 着左右左右 部部部部部 上部大大チャチ 「お材材材材材 上部 「おすた」 「お	Md (kNm/m) -16.516 -16.516 -16.516 -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -42.662 -42.652 81.854 -150.908 81.854 -170.743 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743	N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 N (kNm/m) 124.267	常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484 常時Mr (kNm/m) -99.315 -157.484	398.091 fm面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud	
市 回 1 1 1 </td <td>上部材 左右左右 方下内側 方 方下内側 着ンンンンン 着シンシンシン 着左右左右 前部部部部 上部上部 上部上部 上部上部 上部 方 点 点 方下ン下 月 月 月 点 月 月 月 上部 上部 上部 上部 上部 上部 上部 上部 上部 点 山村 二</td> <td>1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -40.307 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743</td> <td>N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051</td> <td>家e b の時 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484 常時Mr (kNm/m) -99.315 -157.484</td> <td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)</td> <td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td> <td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud</td> <td></td>	上部材 左右左右 方下内側 方 方下内側 着ンンンンン 着シンシンシン 着左右左右 前部部部部 上部上部 上部上部 上部上部 上部 方 点 点 方下ン下 月 月 月 点 月 月 月 上部 上部 上部 上部 上部 上部 上部 上部 上部 点 山村 二	1/0.320 102.617 表-6 Md (kNm/m) -16.516 -166.074 91.424 Md (kNm/m) -42.662 -42.662 -40.307 -150.908 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743 Md (kNm/m) -40.920 -76.589 81.854 -170.743	N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051	家e b の時 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484 常時Mr (kNm/m) -99.315 -157.484	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud	
市 ① ① ② ○ 地 上 時 常 二 上 時 常 二 二 市 市 市 二 二 市 市 二 市 二 小 二 市 二 二 上 市 常 二 二 市 市 二 市 二 丁 ・ ・ 二 二 小 ・ ・ ・ 二 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ ・ 小 ・ ・ ・ </td <td>上部 左右左右 方下内側 点 方下内側 点 着ンンンンン 着左右左右 前部部部部 上部上部 上部上部 上部 上部 二部 上部 二部</td> <td>1/0.320 102.617</td> <td> 2. 2 Ca N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 N (kNm/m) 124.267 156.859 1147.629 N (kNm/m) 124.267 156.859 144.431 181.362 </td> <td>se b の 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484 常時Mr (kNm/m) -99.315 -157.484</td> <td>398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)</td> <td>riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486</td> <td>0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud 1.083 0.066</td> <td></td>	上部 左右左右 方下内側 点 方下内側 点 着ンンンンン 着左右左右 前部部部部 上部上部 上部上部 上部 上部 二部	1/0.320 102.617	 2. 2 Ca N (kNm/m) 35.811 35.811 35.811 35.811 130.311 112.720 N (kNm/m) 84.308 84.308 115.300 92.044 N (kNm/m) 124.267 156.859 118.051 147.629 N (kNm/m) 124.267 156.859 1147.629 N (kNm/m) 124.267 156.859 144.431 181.362 	se b の 常時Mr (kNm/m) -62.055 -62.055 -62.055 -62.055 -141.212 -141.212 -141.212 -141.212 -157.484 常時Mr (kNm/m) -99.315 -157.484	398.091 所面照査結果 地震時Mud (kNm/m) -162.399 175.959 地震時Mud (kNm/m) 526.116 -366.595 地震時Mud (kNm/m) 254.579 -342.800 地震時Mud (kNm/m)	riMd/Mr 0.266 0.266 0.266 0.302 0.302 0.302 0.302 riMd/Mr 0.412 0.486	0.258 riMd/Mud 1.023 0.520 riMd/Mud 0.077 0.412 riMd/Mud 0.322 0.498 riMd/Mud 1.083 0.066	

図-6.2.8 Case a (一次モード)と Case b (応答解析)の r_iM_d/M_{ud}の比較 (上段: Case b、下段: Case a)

7. 研究成果のまとめと残る課題

現行耐震設計法が依拠する応答変位法は、管きょ面に働くせん断土圧が主として管きょの地震時挙動 を支配すると仮定するが、この仮定は実験事実に反している。そのため、現行耐震設計法によって予測 される管きょの土圧・変形挙動は、実際とは定性的に異なる。

本研究会の2年間にわたる活動を通じて、土と構造物の相互作用に立脚した新しい耐震設計法を構築 し、以下の成果を得た。

- ・ 開削工法で埋設される健全な RC 管、FRPM 管、および現場打ちボックスカルバートについて は、現行設計法に代わる合理的設計法を提案できた。
- ・ 老朽化した RC 管とそれを更生した管きょの地震時挙動について、健全な管きょとの挙動の違いや更生の効果をある程度明らかにすることができた。
- 応答解析によって求めた地盤の不均一な変位と剛性の影響を調べ、浅い埋設管きょでは現行耐 震設計法が仮定する一次モードの地盤変形と均一な地盤剛性の条件は危険側の設計となる場 合があることを指摘した。

しかし、提案設計法には以下に示す項目がまだ追及すべき課題として残っているで、今後さらに研究 を進める必要がある。

- 健全なシールド管きょ(鋼製セグメントとコンクリート系セグメント)については、提案設計法
 では常時に耐力不足となり、実際施工で構築されたシールド管きょが安定を確保している事実
 と矛盾する。
- ・ 更生した管きょについては、地震時の破壊に対する安定性の照査が不十分である。
- ・ 提案設計法は管きょの断面方向挙動を扱っているが、軸方向挙動を扱っていない。

(18月1月) 1) 本土禾昌上的 第ヵ回研究の総重偽の出産約1歳わの指摘があり 修正子ろンフレか	(指示函)	以下の指摘があった。	吉村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり	2. 1 議事録確認	■ 議事概要	資料 01-1 第 5 回研究会議事次第	資料 01-0 第5回研究会開催案内	■ 開催概要	 開催振覚 時: 平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 時: 平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 時: 平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 (他内部): 炎工鶏: 八面, 麦竹, 矢野, 日野朴, 西庭, 谷川, 島津, 込五 之赴, 今井 (本) (*) (*) (*) (*) (*) (*) (*)
2.1 議事録確認 吉村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。 (#444)	2.1 議事録確認 吉村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	2.1 議事録確認 吉村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり	2. 1 議事録確認		 代表挨拶 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 	資料01-2-1 第4回研究会議事録 資料01-2-3 幹事会(H28.211)議事録 資料01-2-3 幹事会(H28.210)議事録 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管さょの地震時率の引張り痛消に関する統計 資料6-7 L 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 化分響の地震時。の引張り痛消に関する統計 一 携帯要 1. 代表技	 各国の1-1 第5回研究会議事状第 資料01-2-1 第4回研究会議事状 資料01-2-1 第4回研究会議事報 資料01-2-3 幹事会(H28.2.11)議事報 資料01-2-3 幹事会(H28.2.11)議事報 資料01-2-5 下水道分野における国上交通人臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3-5 下水道分野における国上交通人臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料4 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料4 資料01-3 「上水学会校稿論文 資料01-3 「上水学会校稿論文 資料01-3 「上水学会校稿論文 (12.5 上水道分野における国上交通人臣登録資格の積極的な活用について 資料450-10 (12.5 上水道分野における国上交通人臣登録資格の積極的な活用について 資料450-10 (13.5 上が道分前) (14.5 上水道分野前に関する前) (15.5 上水道分前) (15.5 千水道分前) (15.5 上水道分前) (15.5	日 時:平成28年5月6日(月)1300-18:00 毎 所:土大学会開西文部 二 久 (軟林郎):炎 <u>工勉</u> ,大郎 工人 (軟林郎):炎 <u>工動</u> ,大郎 工人 (軟林郎):炎 <u>工動</u> ,大郎 一人 (本) 一人 (本)	2. 議事録確認と経過説明
 2. 護事録確認と経過説明 	 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 吉村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。 	 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 5. 1 議事録確認 5. 1 議事録確認 	2. 護事録確認と経過説明 2. 1 護事録確認	2、議事録確認と経過説明	 代表挨拶 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい 	 資料 01-2-1 第4 回研究会議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26) 職事録 資料 01-2-5 下水道分野における国上交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-5 下水道分野における国上交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 61-1 土木学会投稿論文 資料 61-1 土木学会投稿論 資料 61-1 土木学会投稿論 資料 61-2 土木学会投稿 資料 61-2 土木学会投稿 資料 61-2 土木学会投稿 資料 61-2 土木学会投稿 1 七大学会投稿 1. 代表技場 1. 代表技場 1. 代表技場 1. 代表は 	 (第1011)第5回研究会議事次第 資料012-11第4回研究会議事次第 資料012-11第4回研究会議事録 (第4012-21時年金)(第4項 (第428.126)該事録 (第49012-55下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料012-55下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-11十七学会投稿論文 (第4012-55下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-11十七学会投稿論文 (第4012-55下水道分野における「東西登科集」 (第4012-55下水道分野における「第54」 (第4012-55下水道分野における「第54」 (第45) (第45) (第45) (第45) (第5) (第5)<td>日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場 所:土水学会開西文師 山 大 (載時部):米<u>下館</u>:大師 東田、吉村、井上、三品、<u>小価、寒竹</u>、矢野、<u>日野朴、高短</u>、谷川、島浩、<u>支吉</u>、 <u>大</u>松、今井 一 <u>大</u>松、今井 一 <u>大</u>松、今井 一 <u>大</u>松、今井 一 三 二 一 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二</td><td>との要請があった。</td>	日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場 所:土水学会開西文師 山 大 (載時部):米 <u>下館</u> :大師 東田、吉村、井上、三品、 <u>小価、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高短</u> 、谷川、島浩、 <u>支吉</u> 、 <u>大</u> 松、今井 一 <u>大</u> 松、今井 一 <u>大</u> 松、今井 一 <u>大</u> 松、今井 一 三 二 一 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二	との要請があった。
との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 古村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 古村委員と井上委員とり第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 さ. 1 議事録確認 古村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり	との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認	との要請があった。 2、議事録確認と経過説明	1. 代表挨拶	資料 01-2-1 第4 IO研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-5 下水道分野によける国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第5 IO研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-6 更生管きょひ地震時準動解析 資料 01-6 更生管きょひ地震時率動解析 資料 01-6 更生管きょひ地震時率動解析 資料 01-6 更生管きょひ地震時本の引張り解消に関する検討 1. 代表技	 (第1011) 第5回研究会議事が第 資料011-211 第4回研究会議事候 資料012-21 第4回研究会議事候 資料012-21 第年回研究会員会の関連小委員会スケジュール(案) 资料012-31 管部更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 资料012-35 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 资料01-31 第56回研究会員25.6 東田資料集 资料01-31 五大学会投稿論定 资料01-32 下水道分野における国主交通大臣登録資格の積極的な活用について 资料01-32 作業会投稿論正 資料01-31 在学会投稿論定 资料01-31 在学会投稿論定 指述の1-31 を見たの地震時率加降所が 资料の目前に加する検討 新報 指載の1-31 たが会投稿論で	日 時:平成28年5月6月(月)12:00-18:00 場 所:土水学会関西支部 出 文(敬称部):米工題:大麻 東田、古社、井上、三品、 <u>小高、寒性</u> 、失野、日野社、高級、谷川、島浩、 <u>丸吉</u> 、 <u>大杉</u> 、今軒 東田、吉田、文画、寒性)、白鹿、炙作)、日野社、高級、谷川、島浩、 <u>丸吉</u> 、 <u>大杉</u> 、今井 (三)、第5日研究会講解版 資料01:1 第5日研究会講解版 資料01:2:1 第4日研究会議事版 資料01:2:1 第4日研究会議事成 資料01:2:1 第4日研究会議事成 資料01:2:1 第4日研究会議事成 資料01:2:1 第4日研究会議事成 資料01:2:1 第4日研究会議書 資料01:2:1 第4日研究会議書 資料01:2:1 第5日研究会員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01:2:1 第5日研究会員会の意味的の情的の活用について 資料10:2:1 指数変化による上日公和10月 資料10:5 第5日研究会自己8.6.6.111 资料10:5 第5日研究会自己8.6.6.111 资料10:5 第5日研究会自己8.6.6.111 资料10:5 第5日研究会員会の意味的の情報的な活用について 資料10:5 第5日研究会員会の意味の意味のの意味のの意味的の活用について 資料10:5 第5日の研究員会の意味の意味の意義のの情報的な活用について 資料10:5 第5日の研究員会の意味の意義の意義の意義の意義の意義のな活動	東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた
東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 との要請があった。 2.1 議事録確認 され委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。 (+etat)	東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 との要請があった。 2.1 議事録確認と経過説明 2.1 議事録確認 过下の指摘があった。	東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 との要請があった。 2. 1 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 吉村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり	東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認	東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明		資料 01-2-1 第4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 o の引張り解消に関する検討 (1) 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	 (本) (1.1 第5回研究会議事次 資料01:2:1 第4回研究会議事録 資料01:2:2 幹事会(H28.211) 議事録 資料01:2:2 幹事会(H28.211) 議事録 資料01:2:3 幹事会(H28.126) 議事録 資料01:2:4 管路更上比約問題亦可得委員会,関連小委員会スケジュール(案) 資料01:3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01:3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01:4 土木学会投稿論文 資料01:4 土木学会投稿論文 資料01:6 更生管きよの地震時季励解析 資料電子に 相対変広による土圧分布について 資料電子に RC管の地震時本の引張り痛消に関する検討 	日 時:平成28年5月6月(月)13:00-18:00 場 所:土水学会開西支部 出 文 (較裕略):米工融、文部 <u>大</u> 、 今年 <u>大</u> 、 今年 (128:21)1 第40 資料 01-1 第5回研究会開催案内 資料 01-1 第5回研究会開催案内 資料 01-1 第5回研究会開催案内 資料 01-2 6 幹事会 (H28:211)1 離事級 資料 01-2 6 幹事会 (H28:211) 離事級 資料 01-2 6 幹事会 (H28:211) 離事 資料 01-2 6 許書 (H28:211) 離事 資料 01-3 第5回研究会 H28:4.6 加速小委員会 スケジュール (案) 資料 01-3 第5回研究会 H28:4.6 加速小委員会 スケジュール (案) 資料 01-3 第5回研究会 H28:4.6 加速小委員会 スケジュール (案) 資料 01-3 第5回研究会 H28:4.5 加速小委員会 スケジュール (案) 資料 01-3 1 第5回研究会 H28:4.5 加速小委員会 スケジュール (案) 資料 01-3 1 第5回研究会 H28:4.5 加速小委員会 スケジョール (案) 資料 01-2 6 丁本学会投稿論文 資料 01-2 6 丁本学会投稿論文	1. 代表挨拶
 	 	 	 	 議事概要 代表挨拶 代表挨拶		資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-4 管路 理生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国上交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-6 更生管さょの地震時挙動解析	資料 01:2・1 第5 回研究会議事成 資料 01:2・1 第4 回研究会議事成 資料 01:2・2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01:2・3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01:2・3 管路 理生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01:2・5 下水道分野における国上交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01:3 第5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01:4 土木学会投稿論文 資料 01:4 土木学会投稿論文 資料 01:6 更生管さょの地震時挙動解析 資料 01:6 更生管さょの地震時挙動解析	日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場所:土水学会関西支術 出 久(敬称略):淡 <u>下線</u> :久附 東田、吉朴、井上、三品、小 <u>高、寒竹</u> 、久野、 <u>日野</u> 札、 <u>高段</u> 、谷川、島津、 <u>九</u> 、 東田、吉和、 <u>北土、三品、小</u> <u>高、寒竹</u> 、谷川、島津、 <u>九</u> (文 (文 (文) (一) (一) (一) (一) (一) (資料番号なし RC 管の地震時 σの引張り解消に関する検討
 資料番号なし RC 管の地震時 の 引張り 解消に関する検討 講事概 (七表挨拶 東田代表より 挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 : 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2.1 議事録確認 	 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 - 護事概要 - (代表技形 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 1 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 1 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 	 資料番号なし RC 管の地震時 o の引張り解消に関する検討 議事概要 1. 代表技好 1. 代表技巧 1. 代表技巧 2. (特素技巧) 1. 特素食確認と経過説明 2. (1) 議事録確認 2. (1) 議事録確認 2. (1) 議事録確認 2. (1) 議事録確認 3. (1) 該書 4 回研究会とその後に開催した幹事会の該事録の報告があり 	 資料番号なし RC 管の地震時 σ の引張り解消に関する検討 議事概要 1. 代表技形 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 	 資料番号なし RC 管の地震時 o の引張り解消に関する検討 護事概要 (代表体び 1. 代表体び 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 : 議事録確認と経過説明 	資料番号なし RC管の地震時のの引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調查專門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-6 更生管さょの地震時挙動解析	 資料01-1 第5回研究会議事成 資料01-2-1 第4回研究会議事 資料01-2-1 第4回研究会議事 資料01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事 資料01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事 資料01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 上水学会投稿論な 資料01-4 土水学会投稿論な 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 	日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場 所:土水学会関西支部 出 久(敬称略):※ <u>下絶</u> :火席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小</u> 航、 <u>寒竹</u> 、谷野、 <u>日野村</u> 、高返、谷川、鳥津、 <u>九</u> 古 大 <u>七</u> 、今井 変 料: 資 料: 資 料: 資 料: 資料01-0 第5回研究会職事次第 資料01-1 第5回研究会職事次第 資料01-2 幹事会(H28.2.11) 議事報 資料01-2 幹事会(H28.2.11) 議事報 資料01-2 幹事会(H28.2.11) 議事報 資料01-3 作5回研究会用28.5.6 其曲進小委員会スケジュール(変) 資料01-3 作5回研究会 H28.5.6 其曲資料4	資料番号なし 相対変位による土圧分布について
 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 (大表挨拶 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 護事録確認と経過説明 2.1 議事録確認 	 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地態時 a の引張り解消に関する検討 (資料番号なし RC 管の地態時 a の引張り解消に関する検討 (大麦枝形) (大麦枝形) (大麦枝形) (大麦枝形) (大香葉水) (1) (読事録確認と経過説明) (2) (議事録確認と経過説明) (3) (前前に関する旅き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 (4) (前前に関する旅音や年度も本研究会活動への協力を頂きたい (5) (前書録確認と経過説明) (5) (前書録確認と経過説明) (4) (前書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書書	 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 a の引張り解消に関する検討 - 議事概要 1. 代表状形 1. 代表状形 1. 代表状形 2. 1 議事録確認と経過訪明 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 	 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時 a の引張り解消に関する検討 講事概要 1. 代表技好 東国 東田代表より技拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 	 資料番号なし相対変位による土圧分布について 資料番号なしRC管の地震時の引張り解消に関する検討 議事概要 1.代表技巧 1.代表技巧 1.代表より技拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 2.議事録確認と経過訪明 	資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時のの引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事成 資料 01-2-1 第 4 回研究会議事成 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集	日 時: 平成 28 年 5 月 6 日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会開西支部 出 欠 (敬称略): <u>※丁穂</u> : 大麻 東田、吉村、井上、三品、 <u>小商</u> 、 <u>寒竹</u> 、矢野、 <u>日野</u> 木, 高返、谷川、島津、 <u>九</u> 占, <u>大</u> 杉、今井 資本, 今井 資本) (1-0 第 5 回研究会職事次第 資本) (1-1 第 5 回研究会職事次第 資本) (1-1 第 5 回研究会職事次第 資本) (1-1 第 5 回研究会職事次第 資本) (1-2-1 第 4 回研究会議事次 資本) (1-2-1 19 4 回研究会議事報 資本) (1-2-1 19 4 回研究会議事報 資本) (1-2-1 19 4 回研究会議事承 資本) (1-2-1 19 4 回研究会議事承 資本) (1-2-5 下水道分野により; 7 5 国連小委員会スケジュール (案) 资本) (1-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料4	資料 01-6 更生管きょの地震時挙動解析
資料:番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討 ■ 護毒戦要 1. 代表体場 1. 代表体場 1. 代表体場 1. 代表体 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 1. 代表体 1. (Heter 1. (Heter 1. (Heter) 1. (Heter) 1. (Heter)	 資料の1-6 更生管さよの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 (一歳基礎要正 1. 代表状切 1. 代表状切 1. 代表状切 1. 代表状切 1. 代表状切 2. 議事録確認と経過説明 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2. 1 該事録確認 2. 1 該事務確認 2. 1 該事務確認 2. 1 該事員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 	資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討 ■ 議事概要 1. 代表技習 1. 代表技習 1. 代表技習 1. 代表技習 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 1. 1 第4日研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり	 資料01-6 更生管きょの地震時季動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 の引張り解消に関する検討 - 議事概要 1. 代表技好 1. 代表技好 1. 代表技巧 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 	資料01-6 更生管きょの地膜時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 a の引張り解消に関する検討	資料 01-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 σの引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集	 資料 01-1 第5 回研究会議事成 資料 01-2-1 第4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-25 第5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 	日 時:平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 場 所:土木学会関西支部 出 欠(較称略):※ <u>下線</u> :欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島淮、 <u>九</u> 古、 <u>大杉</u> 、今井 第 (1)-10 第5回研究会開催案内 資料 01-0 第5回研究会議事次第 資料 01-2-1 第4回研究会議事次第 資料 01-2-1 第4回研究会議事次第 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田蓬小委員会スケジュール(案)	資料 01-4 土木学会投稿論文
資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時達動解析 資料8号なし 相対変位による土圧分布について 資料8号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討 - 議事概要 1. 代表挨拶 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた との要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 古村委員と井上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	資料の1-4 土木学会投稿論文 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討 一 護事援 1. 代表技切 1. 代表技切 1. 代表社切 1. 代表社の 1. 代表社会の 1. 代表社の 1. 代表社の 1. 代表社の 1. 代表社の 1. 代表社の 1. 代表社の 1. 代表社の 1. 代表社の	資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時』の引張り解消に関する検討 - 議事概要 1. 代表技術 1. 代表技術 1. 代表技術 1. 代表技術 2. 信 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認 古村委員と井上委員より第4日研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり	資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 σの引張り解消に関する検討 (引 代表挨拶 1. 代表挨拶 1. 代表挨拶 第二 (1) 能事概[に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた) との要請があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた) との要請があった。 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認	資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 (1. 代表後移 1. 代表後移 1. 代表後移 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 議事録確認と経過訪明	資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 σの引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について	資料 01-1 第5回研究会議事次第 資料 01-2-1 第4回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について	日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場 所:土木学会関西支部 出 欠(敬称時): <u>※下線</u> :久席 東比、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、鳥津、 <u>丸吉</u> 、 <u>大杉</u> 、今井 <u>大杉</u> 、今井 資本 資本 資本 資本 (10-0 第5回研究会議事成 資本の1-1 第5回研究会議事成 資本の1-2-1 第4回研究会議事成 資本の1-2-1 第4回研究会議事成 資本の1-2-1 第4回研究会議事成 資本の1-2-1 第4回研究会議事成 資本の1-2-4 管路更生工法檢討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資本 01-2-5 下水道公野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について	資料 01-3 第 5 回研究会 H28.5.6 東田資料集
資料 01-1 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料番号なし 相対変化による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討 (一様表様切) 一 機業様形 1. 代表核切 1. 代表核切 1. 代表核切 2. 1 講事録確認 2. 1 講事録確認 2. 1 講事録確認 2. 1 講事録確認 2. 1 講事録確認 2. 1 講事録確認 2. 1 講事録確認 2. 1 読事録確認 2. 1 読事録確認 2. 1 読書録確認 2. 1 読書録述の第一条の後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時達動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り麻消に関する検討 - 職事概要 - 職事報要 - (大麦挨拶 - (大麦挨拶 - (大麦挨拶) - (大麦揉瑟) - (大麦揉瑟) - (大麦揉瑟) - (大麦揉瑟) - (大麦揉瑟) - (大麦揉瑟) - (大香葉) - (小女童子会の後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討 1. 代表技好 1. 代表技好 1. 代表技巧 2. 議事録確認と経過説明 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事錄確認 2. 1 議事錄確認 2. 1 議事錄確認 2. 1 議事錄確認 2. 1 議事錄確認 2. 1 議事錄確認	資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時等動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 (小麦携罗 1.代麦携罗 1.代麦携 1 東田代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった、 2. 護事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 2. 1 議事録確認	 資料 01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時 の引張り解消に関する検討 資料番号なし RC管の地震時 の引張り解消に関する検討 ご 代表技び 1. 代表技び 1. 代表技び 1. 代表技び 1. 代表技び 2. 議事録確認と経過訪明 	資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時 σ の引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール (案)	資料 01-1 第5 回研究会議事次第 資料 01-2-1 第4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案)	日 時: 平成 28 年 5 月 6 日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 欠 (敬称略): ※ <u>下絶</u> : 久席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸古</u> 、 <u>大杉</u> 、今井 資本 2 資本 2 資本 2 資本 01-2 第 年 2 資本 01-2 1 第 4 回研究会議事次第 資本 01-2 2 幹 非会 (H28.2.11) 議事録 資本 01-2 2 幹 非会 (H28.2.11) 議事録 資本 01-2 2 幹 非会 (H28.2.11) 議事録 資本 01-2 4 管路 更生工法検討調査専門委員会 ス	資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について
資料01-35 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-4 更生管きょの地震時準加資料 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 和対変位による土圧分析について 資料番号なし 和対変位による土圧分析について 資料番号なし 和対変位による土圧分析について 資料番号なし 日本変に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との更請があった。 2.1 講事録確認 2.1 講事録確認 2.1 講事録確認 2.1 講事録確認 3.1 講事録者記 3.1 読予の方を示 5.1 評評方を示	資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会股稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時率動解析 資料部号なし 相対変位による土圧分析について 資料部号なし RC 管の地震時。の引張り痛消に関する検討 「 代表携 1. 代表携 1. 代表携 1. 代表接 1. 代表接 1. 代表接 1. 代表接 1. 代表時間の1. 昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった、 2. 議事録確認と経過説明 2. 1 議事録確認 1. 生素員より第4日研究会とその後に開催した幹事会の議事録の報告があり 以下の指摘があった。	資料の1-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料の1-3 第5回研究会 用28.5.6 東田資料集 資料にし、 土木学会投稿論文 資料番号なし 相対変化による土圧分析について 資料番号なし RC 管の地震時*の引張り解消に関する検討 (1.代表技好 正代表より挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった、 2. 議事録確認と経過説明 2. 議事録確認と経過説明 2. 議事録確認と経過説明	 資料01-3.5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 「終天切 「後表状切 1. 代表状切 1. 代表状切 1. 代表状切 1. 代表状切 2. 議事録確認に 2. 議事録確認 	資料01-3.5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.6.6 東田資料集 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 1. 代表技移 1. 代表技移 1. 代表技修 2. 議事録確認と経過説明 2. 議事録確認と経過説明	資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料8-9なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録	資料 01-1 第 5 回研究会議事政第 資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.4.26)議事録	日 時: 平成 28 年 5 月 6 日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 欠 (敬称略): ※ <u>下絶</u> : 欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>九吉</u> 、 <u>大杉、</u> 今井 資本 資本 資本 約:1-1 第5 回研究会議事次第 資本 01-2-1 第 4 目研究会議事次第 資本 01-2-2 幹事会 (H28.4.16) 議事録 資本 01-2-3 幹事会 (H28.4.16) 議事録	資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案)
資料01:2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01:3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料4 資料01:3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料4 資料01:4 土水学会投稿論文 資料01:4 土水学会投稿論文 資料50:4 里生管さたの地震時。の引張り解消に関する検討 一 講事概写なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 - 代表体写 1 代表体弱 1 代表した上支員より第4日研究会とその後に開催した幹事会の職事録の報告があり 2 行る指摘があった。	資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・閉連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-6 更生管さよの地態時等動解析 資料 01-6 更生管さよの地態時等動解析 資料 01-6 更生常きよい地態時等動解析 資料書号なし RC管の地震時すの引張り病論に関する統計 資料書号なし RC管の地震時すの引張り病論に関する統計 1 代表状野 1 代表状野 2 護事録補認と報道説明 2 議事録補認 2 1 議事書確認 1 手支責しと非上委員たり上委員たり上委員とが上委員しの 2 1 法書書	資料01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料の1-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料の1-4 土木学会投稿論文 資料部号なし 相対変位による土圧分布について 資料部号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 資料部号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 工 (表表移 」、代表技移 1. 代表技移 1. 代表技修 1. 代表技移 1. 代表技修 1. 代表技修 1. 代表技修 1. 代表社の通信に関連合作成も本研究会活動への協力を頂きたい に関する位の 1. 代表技修 1. 代表社 1. 代表社 1. 代表社 1. 代表社 1. 代表代格 1. 代表代格 1. 代表社 1. 代表社 1. 代表社 1. 代表社 1. 代表 1. 代表社 1. 代表	資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料4 資料 01-4 土水学会投稿論文 資料 01-4 土水学会投稿論文 資料 8-7 に 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時 a の引張り解消に関する検討 (調査者者な) 1.代表体援 1.代表体援 1.代表体援 2.代表体援 2.1、読事録確認 2.1、読事録確認	 資料01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会、関連小委員会スケジュール(案) 資料01-3 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料61-6 更生管きょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RU変動にもの引張り痛消に関する検討 資料番号なし RC管の地震時のの引張り痛消に関する検討 (大麦状物) (七麦状物) (七麦状物) (七麦状物) (七麦状物) (七麦状物) (七麦状物) (日代表上り挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたいとの要請があった。 2. 議事録確認と経過説明 	資料01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時。の引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録	資料 01-1 第 5 回研究会議事次第 資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録 資料 01-2-2 幹事会(H28.2.11)議事録	日 時: 平成 28 年 5 月 6 日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 欠 (敬称略): ※ <u>下線</u> : 欠席 東田, 吉村, 井上, 三品, <u>小高, 寒竹</u> , 矢野, <u>日野林</u> , 高塚, 谷川, 島津, <u>九</u> 古, <u>天杉</u> , 今井 資 料: 資 料: 資料: 01-0 第5回研究会職事次第 資料: 01-1 第5回研究会議事次第 資料: 01-2-1 第4回研究会議事次第 資料: 01-2-2 幹事会(H28.2.11) 議事録	資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録
資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 藤事録 資料 01-2-4 菅路度生工法検討調査専門委員会スケジュール (案) 資料 01-2-5 下水道分野における国士交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-4 土木学会投稿論文 (第一本研究会社の) (10-5 元 (本) (本) (本) (本) (本)	資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 謙事録 資料01-2-1 管路理生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-2 「客部理生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01-1 土木学会按縮論文 資料01-4 工术学会按縮論文 資料01-6 更生管さいの地震時率の引張り解消に関する統計 資料1-5 工作変換があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた との悪癖があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた との要請があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた との要請があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた との要請があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた の目代表より検拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きた	資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 総事録 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-3 生木学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-6 更生管きょの地震時率の引張り条消に関する検討 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 相対変位による土圧分析について 資料番号なし 和対変位による主圧分析について 資料番号なし 和対変位による主圧分析について 資料番号なし 和対変位による主圧分析について 2. 推載電話 1. 代表提切 1. 代表提切 1. 代表接切 1. 代表接切 1. 代表換約 1. 代表指示19 条件在に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があっか。 注利委員と非上委員より第4回研究会とその後に開催した幹事会の職事録の報告があり	資料01-2-3 称事会(H28.4.26)議事録 資料01-2-3 作客馬更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料配-14 土木学会投稿論文 資料配-16 更生管さよの地震時本動解析 資料配合なし 相対変位による土圧分析について 資料電号なし RC管の地震時。の引張り解消に関ナる検討 工 (代表状) (代表状) (代表状) (代表状) (代表状) (1. 代表 (東報館) (1. 代表 (東報館) (1. 代表 (1.) (1.) (資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 議事録 資料01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・明進小委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-6 更生管きょの地震時準動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討 (関する検討) (一代表状) 1. 代表状 1. 代表状 1. 代表状 2. 議事録確認と経過防明	資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-3 第5 回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-4 土木学会投稿論文 資料 01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料 01-6 更生管さょの地震時挙動解析 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り解消に関する検討	資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録	資料 01-3 第 5 回研究会議事依第 資料 01-2-1 第 4 回研究会議事録	日 時: 平成 28 年 5 月 6 日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 欠 (敬称略): ※ <u>下線</u> : 欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸古</u> 、 <u>大杉</u> 、今井 資 料: 1 資 料: 資 料: 1 資料 01-1 第5回研究会議事依第 資料 01-1 第5回研究会議事依第 資料 01-2-1 第4 回研究会議事依	資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録
資料01-2-2 幹事会(H28.11) 藤麻魚 資料01-2-5 昨水道分野に31/5回肚交員会77ジュール(%) 資料01-2-5 下水道分野に31/5回肚交員会77ジュール(%) 資料01-2-5 下水道分野に31/5回田交通大配金融資格の樹脂的な活用について 資料01-1-6 更生管きたの地震時本の引張り解消に関する検討 資料4-5 に1-4 土水学会投稿論が 資料4-5 に1-4 土水学会投稿が 資料4-5 に1-5 工作学会知識時が 資料4-5 に1-5 工作学会知識時が 資料4-5 に1-5 工作学会通道部 1- 代表体 1- 代表 1- 代表体 1- 代表 1- 代 1- 代	資料01-2-2 体事会(H28.2.11) 総小級 資料01-2-3 体事会(H28.2.16) 総事級 資料01-2-3 作素可生工活検討調査専門委員会・関連小委員会スケジョール(案) 資料01-2-5 下水道分野によけう国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01-4 上大学会技術論文 資料01-4 上大学会技術論文 資料1-4 上大学会技術論文 資料1-4 上大学会社税額 資料番号なし RC管の地震時のの引張り病消に関する検討 資料番号なし RC管の地震時のの引張り病消に関する検討 「大売携帯ない RC管の地震時のの引張り病消に関する検討 「大売携帯ない RC管の地震時のの引張り病消に関する検討 「大売携帯ない RC管の地震時のの引張り病消に関する検討 「大売貨券」の引張り病消に関する検討 「大売貨券」の引張り病消に関する検討 「大売貨券」の引張り病消に関する検討 「本行業」の 「市業」の 「市業」の引張する作用をも本研究会活動への協力を頂きたい こ 「主義」まり第4回研究会とその後に開催した幹事会の総事務のの報告があり 以下の指摘があった。	資料 01-2-2 幹事会 (H28.2.11) 議事録 資料 01-2-3 幹事会 (H28.4.26) 議事録 資料 01-2-4 管房 生工法検討調査専門委員会・開進小委員会スケジュール (案) 資料 01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料 01-4 土水学会投稿論文 資料 01-5 5 下水道分明(第1-201-7 (案)) 資料 01-4 土水学会投稿。 資料 01-4 土水学会投稿。 1 代表 技術 2 1 携事録確認 2 1 携書録確認	資料01-2-2 幹事会(H28.11) 総事録 資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 総事録 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田資料集 資料01-3 生大学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料1-4 土木学会投稿論文 資料8-9 たし 相対変位による土圧分析について 資料8-9 たし 相対変位による土圧分析について 資料8-9 たし 和が変位による土圧分析について 資料8-9 たし 和が変位による土圧分析について 資料8-9 たし 和が変位による土圧分析について 資料8-9 たし 和が変位による土圧分析について 資料8-9 たし 相対変位による土圧分析について 資料8-9 たし 相対変位による土圧分析について 資料8-9 たし 相対変位による土圧分析にのいて 資料8-9 たし 相対変位による土圧分析について 2 (書表報報) 1-6 重要 (書表) 1-7 重要 (1-7 重要 (1-7 重要 (1-7 \pm (1-7	資料01-2-2 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 議事録 資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 議事録 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料和日本学会投稿論文 資料101-4 土木学会投稿論文 資料101-6 更生管さよの地震時挙動解析 資料和日本し 相対変位による土圧分布について 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC 管の地震時。の引張り産消に関する検討 工作(表上り挨拶があり、昨年度に引き続き今年度も本研究会活動への協力を頂きたい との要請があった。 2. 議事録電記と経過説明	資料01-2-2 幹事会(H28.2.11) 議事録 資料01-2-3 幹事会(H28.4.26) 護事録 資料01-2-4 管路更生工法検討調査専門委員会・関連小委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国土交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究会H28.5.6 東田資料集 資料01-4 土木学会投稿論文 資料01-4 土木学会投稿論文 資料番号なし 相対変位による土圧分布について 資料番号なし RC管の地震時 σ の引張り解消に関する検討		資料 01-1 第5回研究会議事次第	日 時:平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 場 所:上木学会関西支部 出 欠(敬称略):※下錄:欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>九</u> 古、 <u>大</u> 趁、今井 資 料: 資 料: 資料01-0 第5回研究会議催案内 資料01-1 第5回研究会議事次第	資料 01-2-1 第4 回研究会議事録
5.1 2.1 2.1 3.4 <td> 日田沢会議事次 第5日研究会議事次 第4011 第5日研究会議事項 第61日研究会議事項 第49012 第4日研究会議事項 第49012 第494 (H28.11) 議事政 第496 (H28.11) 議事政 第496 (H28.11) 議事政 第496 (H28.11) 議事政 第49012-5 下水道分野における属主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が強う 第4012-5 下水道分野における国主が強う 第4012-5 正本学会授稿加 第4012-5 正本送 (H28.12) 第4012-5 正本送 (H28.12) 第4012-5 正本送 (H28.12) 第4012-5 正本送 (H28.12) 日本学校会任 (H28.12)</td> <td>(本) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本)</td> <td>5日11 第5日研究会議事次第 資料01-1 第5日研究会議事次第 資料01-2 第4日研究会議事次第 資料01-2 前季日研究会議事務 資料01-2 前季日研究会課事務 資料01-2 前季日研究会員業量 資料01-2 前5日研究会目認も必須長色スケジュール(案) 資料01-3 前5日研究会目認5.6 東田置付集 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 市大党会授稿論文 資料10-1 市大学会授稿論文 資料10-1 市大学会授稿論文</td> <td>内目の1000000000000000000000000000000000000</td> <td>(本) 10.1 第5回研究会開催案内 資料01-1 第5回研究会議事次第 資料01-2-1 第4回研究会議事承 資料01-2-1 第4回研究会議事報 資料01-2-3 幹事会(H28.2.11)議事報 資料01-2-3 幹事会(H28.2.11)議事報 資料01-2-3 管報宣任工法検討調査専門委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国上交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究台128.6 東田資料集 資料01-3 第5回研究台128.6 東田資料集 資料01-5 世界学校和 資料6日、12-5 正式地震時挙動解析</td> <td>資料 01-0 第 5 回研究会開催案内</td> <td></td> <td>日 時:平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 場 所:土木学会関西支部 出 欠(敬称略):<u>※下線</u>:欠席 東田、吉村、井上、三品、<u>小高、寒竹</u>、矢野、<u>日野林、高塚</u>、谷川、島津、<u>丸吉</u>、 <u>大杉</u>、今井</td> <td>資 季:</td>	 日田沢会議事次 第5日研究会議事次 第4011 第5日研究会議事項 第61日研究会議事項 第49012 第4日研究会議事項 第49012 第494 (H28.11) 議事政 第496 (H28.11) 議事政 第496 (H28.11) 議事政 第496 (H28.11) 議事政 第49012-5 下水道分野における属主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が違うスケジュール (案) 第4012-5 下水道分野における国主が強う 第4012-5 下水道分野における国主が強う 第4012-5 正本学会授稿加 第4012-5 正本送 (H28.12) 第4012-5 正本送 (H28.12) 第4012-5 正本送 (H28.12) 第4012-5 正本送 (H28.12) 日本学校会任 (H28.12)	(本)	5日11 第5日研究会議事次第 資料01-1 第5日研究会議事次第 資料01-2 第4日研究会議事次第 資料01-2 前季日研究会議事務 資料01-2 前季日研究会課事務 資料01-2 前季日研究会員業量 資料01-2 前5日研究会目認も必須長色スケジュール(案) 資料01-3 前5日研究会目認5.6 東田置付集 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 土大学会授稿論文 資料10-1 市大党会授稿論文 資料10-1 市大学会授稿論文 資料10-1 市大学会授稿論文	内目の1000000000000000000000000000000000000	(本) 10.1 第5回研究会開催案内 資料01-1 第5回研究会議事次第 資料01-2-1 第4回研究会議事承 資料01-2-1 第4回研究会議事報 資料01-2-3 幹事会(H28.2.11)議事報 資料01-2-3 幹事会(H28.2.11)議事報 資料01-2-3 管報宣任工法検討調査専門委員会スケジュール(案) 資料01-2-5 下水道分野における国上交通大臣登録資格の積極的な活用について 資料01-3 第5回研究台128.6 東田資料集 資料01-3 第5回研究台128.6 東田資料集 資料01-5 世界学校和 資料6日、12-5 正式地震時挙動解析	資料 01-0 第 5 回研究会開催案内		日 時:平成28年5月6日(月) 13:00-18:00 場 所:土木学会関西支部 出 欠(敬称略): <u>※下線</u> :欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸吉</u> 、 <u>大杉</u> 、今井	資 季:
本 資料の1-1 第5回研究会開始来内 資料0-12-1 第5回研究会開始本内 資料0-12-2 時年会(H28.2.11) 読事紙 資料0-12-3 時年会(H28.2.11) 読事紙 資料0-12-3 時年会(H28.2.11) 読事紙 資料0-13-5 下水道分明におけうる国土交通大臣登録合め関館的な活用について 資料0-14 土木学会投留論文 資料0-14 土木学会投留論文 資料0-14 日本学会と日登録(第128.6.8.11) 資料の1-1 土木学会投留論文 資料0-14 日本学会(H28.2.11) 読事紙 資料0-14 日本学会(H28.2.11) 読事紙 資料0-14 日本学会(H28.2.11) 読事紙 資料0-15 世生学会(H28.2.11) 読書(H28.4.5.6.8.5.6.6.5.5.5.5.6.5.5.5.5.6.5.5.5.5	 A A	 (第) 11 第5回研究論事報 (第) 21:0 第5回研究論事報 (第) 21:0 第5回研究論事報 (第) 21:1 第5回研究論事報 (第) 21:2 第4日所名論事報 (第) 21:2 第4日所名論事報 (第) 21:2 第4日所名論事報 (第) 21:2 第4日所名論事報 (第) 21:2 第4日所名論書 (第) 21:2 第4年3(H28-12)1 議事報 (第) 21:2 第年3(H28-12)1 議事報 (第) 21:3 第5回研究: 12:5.5.6 東田客政報 (第) 21:3 第2 (1) 第 (1) 第 (1) 1 (1) 1	 ※ ※	内部の目的には、「「「「「「」」」」」」「「」」」」」「「」」」」」「「」」」」」「「」」」」」	(資 料: 資料 01-0 第5回研究会議事が第 資料 01-0 第5回研究会議事が第 資料 01-21 第4回研究会議事が第 資料 01-2-1 第4回研究会議事が 資料 01-2-1 第4回研究会議事員 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.1) 護事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.1) 護事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.2.1) 護事録 資料 01-2-3 幹事会(H28.5.6 東田登科」 (条) 01-2-3 幹事会(H28.5.6 東田登科」 (条) 01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田登科」 (条) 01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田登科」 (条) 01-3 第5回研究会 H28.5.6 東田登科」 (条) 01-3 世界会投稿論 (条) 01-3 世界会投稿論 (条) 01-3 世界会投稿論 (本学会投稿論 (本学会投稿》 (条) 01-3 世界会投稿 (条) 01-3 日本学会投稿論 (本学会投稿》 (条) 01-3 日本学会投稿論 (条) 01-3 日本学会投稿論 (本学会投稿) (本学会告告) (本学会行前中学会行命) (本学会行命) (本学会行命) (本学会授稿) (本学会行命) (本学会行命	資 約: 資料 01-0 第5回研究会開催案内	資 型:	日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場 所:土木学会関西支部 出 欠(敬称略):※下総:欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸吉</u> 、	<u>大</u> 校、今井
 本 本 本 本 本 本 本 本 (1.2 第5回研究会議事次要 資料0.12-1 第4回研究会議事次 資料0.12-1 第4回研究会議事 資料0.12-1 第4回研究会議事 資料0.12-1 第4回研究会議事 資料0.12-1 普密度生活を加強評判審員会・問題小委員会スクジュール(次) 資料0.12-1 普密度生活を加強評判審判 (1.2 第7回行) 日本学会公認論正確評判 (本 本 本 本 本 (1.3 第5回研究会員会、問題小委員会、の一人の(次) (1.4 上大学会政論論本 (1.4 上大学会政論論本 (1.5 第4回子の) (1.5 上大学会政論論本 (1.5 上大学会政論論本 (1.5 1.5 1.5 1.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2	 本 (11,3,12) (12,3,12) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (13,4,20) (14,1,2,5) (15,1,2,1) (15,1,2,1) (15,1,2,1) (15,1,2,1) (15,1,1,1) (15,1,1,1,2,1) (15,1,1,1,2,1) (14,1,1,2,1,2,1) (14,1,1,2,1,2,1) (14,1,1,1,1,1) (15,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1) (14,1,1,1,1,1,1)<td> 本 本 本 本 本 本 (1) 前5日の研究会議事が預 資料101-01 前5日の研究会議事が預 資料101-01 前5日の研究会議事が預 資料101-21 第4日の研究会議事が預 資料101-21 第4日の研究会議事が 資料101-21 第4日の研究会議事が 資料101-21 第4日の研究会員会スケジュール(案) (第010-21 第第9年以上報告会員会スケジュール(案) (第101-21 第第9日) (第101-21 第第9日) (第101-21 第第9日) (第101-21 第5日) (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第4日 (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第4日 (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第5日 (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第5日 (1) 土大学会投稿通 (1) 二、「大学会投稿」 (1) 二、「大学会行告」 (1) 二、「大学会行告」</td><td> 本 (12.3) (13.4) (13.4) (13.4) (14.4) (13.4) (14.4) (15.4) (14.4) (15.4) (15.4) (15.4) (15.4) (16.4) (17.4) (18.4) (18.4) (18.4) (18.4) (18.4) (19.4) (19.4)</td><td> 本人小人人、 本人、 (注 本): (注 本): (注</td><td>人 立人, 小子, 資本: 資本: 資本: 資本: 資本: 資本: 資本: 資本:</td><td><u>大杉、</u>今井 資料01-0 第5回研究会開催案内</td><td><u>大杉、</u>今井 資料:</td><td>日 時: 平成 28 年 5月 6日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 久 (敬称略): ※<u>下線</u>: 火席</td><td>東田、吉村、井上、三品、<u>小高、寒竹</u>、矢野、<u>日野林、高塚</u>、谷川、島津、<u>丸吉</u></td>	 本 本 本 本 本 本 (1) 前5日の研究会議事が預 資料101-01 前5日の研究会議事が預 資料101-01 前5日の研究会議事が預 資料101-21 第4日の研究会議事が預 資料101-21 第4日の研究会議事が 資料101-21 第4日の研究会議事が 資料101-21 第4日の研究会員会スケジュール(案) (第010-21 第第9年以上報告会員会スケジュール(案) (第101-21 第第9日) (第101-21 第第9日) (第101-21 第第9日) (第101-21 第5日) (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第4日 (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第4日 (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第5日 (1) 土大学会投稿通 資料101-21 第5日 (1) 土大学会投稿通 (1) 二、「大学会投稿」 (1) 二、「大学会行告」 (1) 二、「大学会行告」	 本 (12.3) (13.4) (13.4) (13.4) (14.4) (13.4) (14.4) (15.4) (14.4) (15.4) (15.4) (15.4) (15.4) (16.4) (17.4) (18.4) (18.4) (18.4) (18.4) (18.4) (19.4) (19.4)	 本人小人人、 本人、 (注 本): (注 本): (注	人 立人, 小子, 資本: 資本: 資本: 資本: 資本: 資本: 資本: 資本:	<u>大杉、</u> 今井 資料01-0 第5回研究会開催案内	<u>大杉、</u> 今井 資料:	日 時: 平成 28 年 5月 6日 (月) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 久 (敬称略): ※ <u>下線</u> : 火席	東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸吉</u>
東山、古山、山山、並山、美山、大野、山野払、直壁、谷川、高津、山山、 大松、小川、 大松、小川、 家 戸二、 家 戸二、 家 戸二、 家 戸二・ 第5日研究会開除終わ 家 戸二・ 第5日研究会開除終わ 家 戸二・ 第5日研究会講事が第 家 戸10-10 第5日研究会講教が第 家 戸10-12 幹事会(H232.13) 藤単級 家 戸10-12 幹事会(H232.13) 藤単級 家 戸10-12 中学会(H232.13) 藤単級 家 戸10-12 中学会(H232.13) 藤単級 家 戸10-13 第5日研究会員会・問題小を勇員会、予問一の意力 家 戸10-13 第5日研究会員会・問題小を勇員会、一個、 第401-13 第5日研究会員会の自選のな活用についた 家 戸10-13 第5日研究会員会の見近り麻酒のな酒子のない などの世界時期のの引近り麻酒に関する検討 第401-14 世界のによるエレク(家) 第401-14 世界の主人の自己主人が学び合正のいた などの世界時からの引渡り解消に関する検討 での注意していた。 第41-14 世界の主人のといた	 東山、古山、<u>山山、敷竹、</u>冬野、日<u>町</u>山、西瓜、沙山、 大広・今井、 大広・今井 支払・今井 黄本 雪子 黄本 黄本 雪子 黄本 「日本 「日本<	 東山、古村、井上、三品、小菡、変竹、代耶、旦野鮎、遊屋、谷川、島津、上道、 大人 今井 芝松、今井 ざ水、今井 ざか ざい ざい ざい ざい ざい ざい ごい 「おちち 「おちち 「おちち 「おちち 「おちち 「おちち 「おちち 「 「 「 「 「 (「 ((A 定い、古町、大山、三山、小面、差小、大明、山町林、西辺、谷川、高県、支山、 大広、今井、 大広、今井、 大広、今井、 一大び、今井、 一大び、今井、山田水会線準次で 資料の10-1 第5日研究会線電次で 資料01-1 第5日研究会線電次で 資料01-2 幹事会(H28.2.1)) 龍事廠 資料01-2 幹事会(H28.2.1)) 龍事廠 資料01-2 幹事会(H28.2.1) 龍事廠 資料01-2 作本金分額通定 資料01-2 作本金分額通定 資料01-2 作本金分額通定 資料01-3 第5日研究会(H28.2.1) 龍事廠 資料01-3 第5日研究会(H28.2.1) 龍事廠 資料01-3 第5日研究会(H28.2.1) 龍事廠 資料01-3 第5日研究会(H28.2.1) 龍事廠 資料01-5 「大道の形式」 資料01-5 「大道の形式」 資料01-5 「大道の形式」	東田、吉村、井上、三品、小高、変竹、矢野、目野社、高短、谷川、鳥津、 <u>山市、 大大</u> 、今井 一大杉、今井 一大杉、今井 資料101-01 第5回研究会議事次第 資料101-01 第5回研究会議事次第 資料101-21 第4回研究会議事次第 資料101-21 第4回研究会議事次第 資料101-21 第4回研究会議事次第 資料101-21 第4回研究会議事次第 資料101-21 第4回研究会議事次第 第4回研究会議事次第 第4回研究会議事次第 資料101-25 下北道野町三部(日本会員会大ケジュール(案) 第4回10-25 第4回研究会員会大ケジュール(案) 第4回10-25 第4回研究会員会大ケジュール(案) 第4回10-25 第4回研究会員会人がニール(案) 第4回研究会員会大グショール(案) 第4回行会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会員会員会人が二ール(案) 第4回行会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員会員	東田、吉村、井上、三品、小 <u>高、奥竹</u> 、久野、日野林、高屋、谷川、島津、 <u>七古、 大杉</u> 、今井 一大砂、白油、 <u>冬竹</u> 、谷町、島津、 <u>七古、大</u> 小 一大砂、白油、 (資本) (資本) (資本) (1) 第5回研究会開催案内 (資本) (1) 第5回研究会離事級 (第本) (1) 第5回研究会離事級 (1) 第5回研究会離事級 (1) 第4回研究会離事級 (1) 第4回研究会離事務 (1) 第4回研究会通本が (案) (1) 2) 6 作礼送が野における国土交通大臣登録各の積極的な活用について (案) (1) 1: 1 土水学会校橋論文 (案) (1) 1: 1 土水学会校橋論文 (第本) (第一) (1) 1: 1 土水学会校橋論文 (第一) (第一) (1) 1: 1 七小学会校橋論文 (第一) (第一) (1) 1: 1 七小学会校橋論文 (第一) (第一) (1) 1: 1 七小学会校橋論文 (第一) (第一) (1) 1: 1 七小学会校稿書 (第一) (第一) (1) 1: 1 七小学会校稿書 (第一) (第一) (1) 1: 1 七小学会校稿書 (第一) (第一) (第一) (第一) (1) 1: 1 七学会校稿書 (1) 1: 1 七学学会校稿書 (1) 1: 1 七学会校稿書 (1) 1: 1 1	東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林</u> 、高塚、谷川、島津、 <u>丸吉、 大杉</u> 、今井 資 料: 資料01-0 第5回研究会開催案内	東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸吉、 大杉</u> 、今井 資 料:	日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00 場 所:土木学会関西支部	出 欠(敬称略): ※ <u>下線</u> : 欠席
H χ (with): $i \times Tage: \chi factor in the form of the form of the form of the form \frac{1}{2} for $	Let A_{1} (with A_{1} , A_{2} , A	中 久 (物称): : : : : : : : : : : : : : : : : : :	 中 久 (彼術県): ※工廠: 大麻 東上, 古風, 小魚, 金松, 大郎, 日野林, 高塚, 谷川, 島林, 五克, 大小, 今本 大小, 今本 大小, 今本 大小, 第二, 二島, 小島, 冬松, 白野林, 高塚, 谷川, 島林, 五克, 大小, 第二, 二島, 小島, 冬田, 小川, 第四10-19, 第5回研究会開催案内 第四10-19, 第5回研究会開催案内 第四10-19, 第4回研究会議事務 第四10-19, 第4回研究会議事務 第四10-19, 第4回研究会議事務 第四10-19, 第4回研究会議事務 第四10-19, 第4回研究会議事務 第四10-19, 第4回研究会員会力ゲジニル(家) 第四10-19, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12	 出 文 (戦術略): ※工廠: 大麻 東田、吉村、井上、三品、<u>小価、多竹、日野林、西塚</u>、谷川、島桃、<u>丸吉</u> 大松、今井、 大松、今井 大松、今井 大松、今井 (11) 第5回研究会開催案内 (21) 第4回研究会講承報 (21) 第4回研究会講承報 (21) 第4回研究会議事務 (21) 第5回研究会開催案内 (21) 第4回研究会議和公司 (22) 幹半会 (1128.11) 該本録 (24) (23) (24) (24) (24) (24) (24) (24) (24) (24	 内、(軟術): ※<u>下漁</u>: 六席 東山、大<u>地、(</u> 東山、大<u>山、(</u> 大<u>人</u>) 大<u>し、</u> 大<u>し、</u> 大<u>し、</u> 大<u>し、</u> 大 大	出 欠 (敬称略) : ※ <u>下線</u> : 欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸古</u> <u>大杉</u> 、今井 資 料: 資料:01-0 第5回研究会開催案内	 出 欠 (敬称略):※<u>下線</u>: 欠席 東田、吉村、井上、三品、<u>小高、寒竹</u>、矢野、<u>日野林、高塚</u>、谷川、島津、<u>九古、</u> 大杉、今井 資 料: 	日 時: 平成 28年5月6日(月) 13:00-18:00	場 所:土木学会関西支部
 場所:北水省金融西文術 基代、(収納的::米工義):火部, <u>119</u>, 私), 品牌, <u>119</u>, 4, <u>110</u>, 4, <u>119</u>, 4, <u>110</u>, 4, <u>11</u>	 場所:土水や会園間支が 4. 使、(webba): 米をご述: 大部、19世社、意思、301. 鳥幹、4点 上に、1.4. (Webba): 米をご、2011 第. 日本、1.4. (Mebba): 米をご、4.4. (Mebba): 米をご、4.4. (Mebba): 米をご、4.4. (Mebba): 本をう 4. (Mebba): 米をご、4.4. (Mebba): 第.4.4. (Mebba): 第.4.4.4. (Mebba): 第.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4	4 所: 土大学会開展広都 一 大 (破特部): 淡工塾: 文所 工人、(軟特部): 淡工塾: 文所 大人、(軟特部): 淡工塾: 文所 大人、(軟特部): 淡工品: <u>小面、 変性</u> , 天明, 山野林, 高程, 谷川, 島津, <u>少西</u> , 大人、(本) 大人、(本) 一 大学、(138,11): 第4時 第4010-13: 第4日の代金融(新一次) 第4010-13: 第4100 第4010-13: 第4100 第4100-13: 第4100-13: 第4100 第4100-13: 第4100 第4100-13: 第4100 第4100-13: 第4100 第4100-13: 第4100 第410	場 所:土水学会調問支部 田 大 (飯碗部):米工廠: 大師 東田, 古村, 井上, 三品, 小 <u>6</u> , 冬野, <u>日野</u> 社, 高極, 谷川, 島津, <u>小西</u> , 大 大 大 大 大 大 大 大 大 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二	4) 所:土水学会関西玄郎 一文(物称40):米工24:人類、 <u>日野林、高俊</u> 、谷川、島津、 <u>45</u> 東山、吉山、 <u>46</u> 、美山、王二二、 <u>46</u> 、美山、大道、美山、大道、美山、大山、美山、美山、美山、大山、美山、大山、美山、美山、大山、美山、大山、美山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山、大山	場 所:土大学会関西支部 田 文 (軟術部):米工録: 六和 東田、吉村、井上、三品、 <u>小商</u> 、発竹、氏野、 <u>日野</u> 赴、高塚、谷川、島津、 <u>丸吉</u> 大 <u>七</u> 、今井 大 <u>七</u> 、今井 大 <u>七</u> 、今井 大 <u>七</u> 、今井 大 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	場 所:土木学会関西支部 出 欠 (敬称略): <u>※工穂</u> :欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、奥竹</u> 、矢野、 <u>日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸舌</u> <u>大杉</u> 、今井 資 料: 資料01-0 第5回研究会開催案内	場 所:土木学会関西支部 出 欠 (敬称略):※ <u>下絶</u> :欠席 東田、吉村、井上、三品、 <u>小高、寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>丸吉</u> <u>大杉</u> 、今井 資 料:		日 時:平成28年5月6日(月)13:00-18:00

付録 1

研究会・幹事会・WS

付録 1-1

ć	R	
たため	倹討す	
生じ	ぎょ	
を問か	10	
果に毎	送り,	
析結	黄を見	
重の角	の掲載	
時荷	「結果	
流	の解ね	
いるな	ч 10	
<i>€</i> げて	いが	. •
てて挙) 	もった
例と	記る書	明加
解析事	報告	上の説
する魚	7年度	したつ
こ掲載	戶成 2′	たわい

2.2 管路更生工法検討調査専門委員会の経過と下水道分野における国土交通大臣登録 資格の説明

三品委員より管路更生工法検討調査専門委員会の経過説明があり、平成 27 年度に技術担 当理事が交代し、承認が下りない等の理由で委員会が当初の予定どおり進捗していないと の報告があった。また、国土交通大臣が認定する民間資格登録制度として、下水道分野の 計画・調査・設計業務の管理技術者と下水道管路施設の点検業務の担当技術者の 2 資格が 追加されたとの報告があった。

3 東田代表の報告

3.1 ワークショップ案内

昨年度の研究成果を報告するワークショップの案内は、チラシ配布とホームページへの 掲載の両方を行うこととし、掲載内容が了承された。

3.2 土木学会への論文投稿

東田代表より、本研究会の昨年度の活動成果を4編の論文にまとめ、本年 9 月に仙台で 開催される土木学会全国大会に投稿したことが報告された。

3.3 シールドの解析とヒアリングの結果報告

東田代表より、提案設計法によってシールド管さょの耐震解析を行ったところ、常時でRCセグメント、鋼製セグメントとも破壊する結果となったが、実際施工ではセグメントは 破壊していないため、シールドセグメントに作用する常時荷重について、遠心実験による 測定、設計荷重の問題、地盤定数とセグメントの剛性の扱い方について検討結果が示され た。そして、この検討結果に基づいて可能な限り発生曲げモーメントが小さくなる条件を 設定して解析を実施したが、なお満足する結果が得られなかったので、実際施工で生じる 常時荷重について施工業者 2 社にエアリングを行ったところ、実際にシールドに作用する 常時荷重にはほぼ等方圧と認識されているとの報告があった。

また、島津委員より、資料に挙げた論文の著者の一人はシールドの土圧測定結果を保有 しており、測定データを提供していただける予定であるとの報告があった

(質疑)

 失野委員より、耐震設計計算例に準じるとどれぐらい変形するのかとの質問があり、 島津委員から、変形に関しては定量化していないが、応力に関しては、許容は超える

ものの降伏までは至らない範囲にあるとの回答があった。

4 RC管の地震時垂直土圧 σの引張り解消に関する検討

島津委員より、RC 管の FEM 解析(地震時 σの引張り有り)で得られた Mmax は 0.655 tf・m/m(現行設計法による Mmax の 1.36 倍)、フレーム計算で σ の引張りを無しとした場合は Mmax=0.628 tf・m/m(同 1.25 倍)であったが、地震時 σ の引張りを解消した FEM 解析に よって得られた Mmax は 0.628 tf・m/m(同 1.30 倍)となったとの報告があった。

(質疑)

1) 井上委員より、手間の割にほとんど差が無いので、自重十地震のσが引張となった場合、 のをゼロとすることで良いのではないかとの質問があり、東田代表から、実際にはあり得ない引張り のをゼロにした場合の土圧再配分の影響を正確に定量化するのが本検討の目的であるとの回答があった。

5 更生管の地震時挙動解析

吉村委員より、これから予定している更生管の FEM 解析について報告があり、すでに集 中線荷重載荷試験で更生管の FEM 解析モデルを構築した実績があるため、これを準用して 更生前と更生後の両方を解析し、更生後は損傷レベル L と HHH を解析対象とする予定で あることが報告された。これに対し、損傷レベル HHH はすでに自立できない程度まで損 傷しており解析対象として不適切であること、更生管が複合構造であるため照査の方法が 困難であることが指摘され、改めて幹事で議論することとなった。

(質疑)

- 1) 井上委員より、二層構造管より複合管の方がモデルが複雑なのに、なぜ複合管から解析するのかとの質問があり、東田代表から、二層構造管は中小径管に多く適用され、レベル2地震動に対して性能確保が要求される大口径管では複合管が多く適用されるため、複合管を主な解析対象としたとの回答があった。
- 2) 井上委員より、下水道管きょのレベル2地震動に対する要求性能はどのような性能かとの質問があり、今井委員から、下水の流下能力を確保できることが要求されるとの回答があった。

6 その街

東田代表から、今年度は最終年度なので昨年度よりも早めに活動を進める必要があると の考えが示され、次回(第6回)研究会は7月12日13:00から17:00に土木学 会関西支部にて、幹事会は6月11日のワークショップ(WS)後に開催することがそれ ぞれ決定された。

幹事会(H28.6.11) 報告

■ 開催概要

日 時:平成28年6月11日(土)16:00-17:00

場 所:立命館大学びわこ・くさつキャンパス

出席:東田、吉村、井上、三品、今井

資 粒:

資料番号なし 幹事会議題 (東田)

資料番号なし RC 管の地震時土圧の引張領域の解消について (2016.06.07 鳥津) 資料番号なし シールドセグメントの応力計算について (2016.05.30 東田メモ)

■ 議事概要

土木学会関西支部年次学術講演会のワークショップの後、幹事会を行い、以下の討議を 行った。

RC管の開口

島津委員より、提案設計法によって求めたRC管に働く引張り垂直土圧(๑)の解消方 法について報告があり、地震時。の引張分をジョイント要素の地盤側に分布肯重として作 用させる方法(解消方法#1)と、開口部分のジョイント要素の剛性をゼロにし、そのジ ョイント要素の地盤側と管側に常時の。を分布荷重として作用させる方法(解消方法#2) の2つの方法によってRC管に働く引張。を解消させた場合の解析結果が示され、解消方 法#20方がこれまでの解析と整合することから、引張り。が生じた場合は解消方法#2 にて影響を評価したいこと、および解消方法#2によって得られた Mmax はフレーム計算 で引張り。を解消した場合とほぼ同じであったことが報告され、解消方法#2による方法

2. シールド解析と文献調査まとめ

東田代表からシールドセグメントの応力計算について報告があり、これまでのヒアリン グや文献調査より、シールドセグメントに働く常時荷重はほぼ均等分布と想定されること から、土圧はゼロと仮定し、水圧と浮力に対する反力、およびそれらによってセグメント に生じるモーメントを FEM によって算定するのが妥当と考えられるとの報告があった。

3. 更生管の解析について

FEMによる提案耐震設計法が Box カルバートを除いてほぼ固まったことから、Box カルバートの解析が済み次第、劣化した既設管と更生管を対象に地震時解析を進めることを決定した。

4. 研究助成について

東田代表から下水道協会の研究助成と災害科学研究所への特定研究(BPR-A)への応募に ついて報告があった。なお、災害科学研究所の研究助成を得た場合、成果の権利がどこに 帰属するのか確認する必要があるとの意見があった。

5. 今後の予定

7月12日に第6回研究会を開催し、その後の予定として9月7日(水)から9月9日(金)に仙台にて行われる土木学会全国大会に合わせて幹事会を、第7回研究会を9月23日(金)に開催することをそれぞれ決定した。

議事録
回研究领
第6

■ 開催概要

- 日 時:平成28年7月12日(火)13:30-18:00
- 場 所:土木学会関西支部
- 出 欠(敬称略):※下線:欠席

東田、吉村、井上、三品、<u>小高、寒竹</u>、矢野、<u>日野林、高塚</u>、谷川、島津、<u>丸吉、 大杉</u>、今井

資 粒:

資料 06-0 第 6 回研究会開催案内

資料 06-1 第 6 回研究会議事次第

資料 06-2 研究グループ名簿

資料 06-3-1 ワークショップ議事録

資料 06-3-2 2016 年 6 月 11 日幹事会議事録

資料 06-3-3 公益信託下水道振興基金平成 2 8 年度研究助成要領 災害科学研究所〇〇研究会規約 (SPR-A 標準案)

資料 06-4-2% 文献 NO.3 土木研究所資料 軟弱地盤中のシールドトンネルの現場計測 資料 06-4-3% 文献 NO.4 土木研究所資料 シールドトンネルの作用土圧に関する現場 計測報告書

資料 06-4-4※ 論文⑧矢萩 8カ月後の全土圧

資料 06-5 タイトルなし(島津委員報告資料) 資料 06-5-1※ タイトルなし(島津委員報告資料)

東行 00-5-2% BC 管の地震時土圧の引張領域の解消について(第 2 回研究会資料修正版)

資料 06-5-3※ タイトルなし(島津委員報告資料)

資料 06-6% 既設管と更生管の地震時挙動解析について

■ 議事概要

1. 代表挨拶

東田代表より挨拶があり、健全な管に対しては概ね耐震設計法が構築されたことから、 残りの活動期間において劣化した既設管の耐震設計法に取り組みたいとの方針が述べられ た。

2. 新委員紹介

新たに委員に加わった山本委員より自己紹介が行われた。

3. 議事録確認と経過説明

3.1 議事録確認

井上委員より 6月 11日に開催された H27 年度活動報告のワークショップと幹事会の議 事録の報告があり以下の指摘があった。

(指摘)

- 1) 東田代表より、ワークショップ議事録の3.の内容について「土木学会全国大会でも 発表することになっているが、当初の報告書から図を更新しているため最新の図を使 用すること。また、B/H=1.1 とした根拠について、発表者である井上委員と意見のす り合わせをしたい。」との発言があった。
- 2) 東田代表より、幹事会の議事録について「1. 下から2行目の『・・・引張り a を解消した場合・・・』は『・・・引張り a を解消しない場合・・・』の誤りであるため 修正すること」との指摘があった。

3.2 経過説明

三品委員より国の動向に特に進展はないとの報告があった。また、大杉委員欠席のため、 大阪市からの経過報告は行われなかった。

3.3 研究助成の説明

東田代表より公益信託下水道振興基金と災害科学研究所の研究助成について説明があり、 「本研究会が今年度で終了するため、次年度以降はどちらかの研究助成に応募し、引き続 き課題に取り組んでいきたい。」との報告があった。また、まず公益信託下水道振興基金の 研究助成に応募し、採用されなかった場合に災害科学研究所の研究助成に応募する方針が 示された。

4.シールドセグメントの常時土圧に関する文献調査

東田代表よりシールドに作用する外力についての説明があり、「文献調査に示されている 既往の計測結果によると、シールドセグメントに作用する外力は水圧のみで、土圧はシー ルドの浮力に対する反力程度しか作用していない。」との報告があった。また、シールド表 面を非排水境界とした場合(Case①)は水圧のみが作用し、排水境界とした場合(Case②) では土木一体として全土圧が作用するケースに相当するとの報告があった。

(質疑)

井上委員より「多少の漏水があるとしても、非排水を前提に設計・施工されているシールド表面を排水境界と見なすのは無理があるのではないか?」との質問があり、東

幹事会(H28.9.8) 報告	 開催概要 時:平成28年9月8日(木)17:30-19:30 時:アサノ大成基礎エンジニアリング東北支社 出 席:東田、吉村、井上、三品、島津 資料番号なし 第7回研究会議事次第 資料番号なし 第7回研究会議事次第 資料番号なし 不成28年度公益信託下水道振興基金研究助成金交付申請書 資料番号なし (仮称) シールドセグメントのFEM 解析結果 資料番号なし 副震計算例の地震時外力(水平強制変位)について 資料番号なし SHAKEによる地震応答解析 	資料番号なし SHAKE を用いた動的応答解析 (使用の手引き) 資料番号なし 動的解析と耐震設計 [第二巻]動的解析の方法 土木学会編 ■ 議事概要 土木学会全国大会に合わせて、宮城県仙台市にて幹事会を行い、以下の討議を行った。	 第7回研究会議事次第(案)と下水道振興基金研究助成交付申請書について 東田代表より、次回(第7回)研究会の議事次第(案)と下水道振興基金研究助成交(申請書の内容について説明があり、異議なく了承された。 	 シールドセグメントのFEM解析結果 シールドセグメントのFEM解析結果 島津委員からシールドセグメント (RC セグメントと鋼製セグメント)のFEM 解析結 が報告され、以下の討議が行われた。 (主な討議内容) (主な討議内容) (主な討議内容) (主な討議内容) (主な討能内容) (二の大山の下山の発生境界において生じた不連続点については、2 つのガウ 点の平均値をプロットすることで解消されると想定されることから、この方法で図化 直すこととなった。 グラフと表でモーメントの値で見られた不整合は島津委員の方で再度確認していた? 	く。 ・ シールドセグメントの応力計算に関しては、今年度新たに参加していただいた山本委」 が詳しいと想定されるため、次々回の委員会にてセグメントの応力計算や照査の方法 説明を依頼する。
田代表より「漏水個所は水圧が 0 と見なすことができ、周辺地盤が軟弱粘土であれば 圧密過程にあるとみなすことができる。」との回答があった。	 FEM解析の結果報告 I RC管の地震時土圧の引張領域の解消 I RC管の地震時土圧の引張領域の解消 通達委員より、RC管の地震時土圧の引張領域の解消についての報告があった。 (質疑) (質疑) 1) 東田代表より「結果的に引張の影響が小さく、安全側の評価となるため、引張を解消 しなくても良いのではないか?」との指摘があり、これに対して島津委員より「引張 の影響が小さいのは今回の計算条件における結果であり、どのような条件でも同様の 傾向となるか不明であるため、引張解消は必要と考えている。」との回答があった。 	5.2 ボックスカルバートの解析結果報告 島津委員より、ボックスカルバートの解析結果が報告され、左右上端の隅角部付近の作 用土圧の特異値について議論が行われ、引き続き要素の分割方法を見直して計算すること となった。	6.既設管と更生管の地震時挙動解析 古村委員より、更生管のFEM解析について、計算が実行できることを確認したとの報告 があり、10月中を目指して解析計算を進めることとなった。	7.その他 今後の予定について、土木学会全国大会のスケジュールが公表されたことに伴い、幹事 会を全国大会の発表日に合わせて9月9日(金)の午後から開催すること、次回(第7回) 研究会を7月23日(金)に開催する予定となった。	

第7回研究会 議事録 第7回研究会 議事録 日 開催電 日 開催電 日 時半球28年9月23日(金)13:00-18:00 場 所:土水学会関西支部 出 次(敬称略):炎 <u>下絶</u> 其田、吉村、井上、三品、小高、 <u>寒竹</u> 、矢野、 <u>日野朴、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>九古</u> 、 大杉、今井、山本 工杉、今井、山本 一 在 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本
資料 07-4-1 動的解析の方法と目的 (島津委員) 資料 07-4-2 耐震計算例の地震時外力 (水平強制変位) について (島津委員) 資料 07-5-1 (タイトルなし) ボックスカルバートの土圧とモーメント分布 (島津委員) 資料 07-6-1 Joint の開口条件と土圧の算定方法 (島津委員) 資料 07-6-2 シールドセグメントの解析結果 (島津委員)
 議事概要 1.代表挨拶 東田代表より、今後の活動計画について説明があり、各委員に対して協力が要請された。 2.議事録確認と経過説明
2.1 議事録確認 井上委員より前回(第6回)研究会と9月8日に開催された幹事会の議事録の報告があ

現在の下水道指針のように地盤の水平変位をコサインカーブとすることは埋設深度の小

動的解析について

さい下水道管に対しては過小評価となる可能性があるとの指摘を受け、島津委員より動的

解析手法について説明が行われた。

(主な討議内容)

・ 井上委員より、応力の違いによる変形係数の変化やひずみ軟化などの様々な要因を複合

させると影響分析が困難となるため、対象要因を一つに絞った単純なモデルでパラメー

タスタディ(要因分析)をした方が良いとの意見があった。

第7回研究会を9月23日(金)13:00~土木学会関西支部にて開催する。

4. 今後の予定

2
£
HU
承
\vdash
\sim
42
藼
異
2

2.2 経過説明

三品委員より、会計実施検査にて複合管に対し①軸方向の検討と②水平土圧の考え方に ついて指摘があり、これに対する検討委員会における方向性が示されたとの報告があり、 以下の質疑が行われた。また、大杉委員欠席のため、大阪市からの経過報告は行われなか った。

(質疑)

- 井上委員より、管軸方向の検討については、複合管だけではなく自立管も同様である が、会計検査の指摘は複合管に対するものかとの質問があり、三品委員より、会計検 査の指摘は複合管に対するものであったとの回答があった。
- 2) 小高委員より、パルテムフローリング工法の場合、管きよと管きょの継手部分において、既設管(審査証明では L=2.43 m のヒューム管が実験対象)の永久ひずみに対する る.5 mm が抜けたとしても、表面部材が伸びることによって水密性(0.1 MPa の内圧に耐える)を確保している(更生工法による管継手耐震性の要求性能は、あくまでも既設管の変位に対する水密性確保)。ただし、施工目地間距離の長い現場打ちボックスなどには対応できないので、他工法の併用を行う検討が必要であるとの説明があった。
- 3) 東田代表より、管に作用する水平土圧は管と地盤の剛性の比、および管の設置方式によって変化するが、本日配布された水平土圧の考え方は埋設された管に作用する土圧と管強度を確認するための集中載荷試験の荷重を混同しており、論理的に破たんしているとの指摘があった。

3 研究助成金交付申請について

東田代表より、公益信託下水道振興基金研究助成金交付申請について説明があり、現在 の耐震設計に用いられている地盤の水平変位は cosine カーブであるが、地盤は応力レベル によって変形係数が異なるため、下水道のような浅埋設では地震時の地盤変位を過小評価 している可能性があり、この解明を研究テーマとして申請したとの説明があり、了承され た。

4 シールドに作用する土圧について

東田代表より、前回研究会に引き続きシールドセグメントに作用する土圧の考え方が説 明された。

(質疑)

1) 東田代表より山本委員に対し、一般論として RC セグメントより鋼製セグメントの方が

漏水が多いと考えてよいのかとの質問があり、山本委員から、小口径の鋼製セグメントでは桁高が小さいため、設置する止水ゴムも一条になるため漏水しやすいと思われるとの回答があった。

5 ボックスカルバートとシールドセグメントのFEM解析結果の報告

島津委員より、ボックスカルバートとシールドセグメントのFEM解析結果が報告され、 管と士との開口条件をジョイント要素の2点のガウス点の平均応力が引張となった場合と し、土圧 σとしてこの平均応力をジョイント要素中心にプロットすれば、これまでの解析 で見られた応力の過度な変動や開口範囲の発散などの問題が解消し、合理的な土圧が得ら れたとの報告があった。

(質疑)

- 1) 矢野委員より、シールドは浮力に対する反力によって扁平になるため、管側でも反力 土圧が生じるのではないかとの質問があり、東田代表から、剛性管の引き上げ実験で は引き上げ量の増大に伴って管の上半分に働く垂直土圧が働く範囲が次第に狭くなっ て管側でゼロになる現象が見られたとの報告があった。また井上委員より、反力の生 じる範囲は管と地盤の剛性によって決まるため、管側に反力土圧が生じない場合もあ るのではないかとの意見があった。
- 2) 島津委員より、「ボックスカルバートのハンチ部に生じるモーメントは部材厚の影響で 特異値となるとの報告に対し、井上委員より、部材の耐力は通常、ハンチを含まない 断面で照査するため、ハンチ部の土圧やモーメントは算出しても意味が無いとの意見 があり、今後、ハンチ部を除いて図示することとなった。
- 3) 島津委員より、RC セグメントとボックスカルバートの応力照査について山本委員に援助の要請があり、「承された。

6 動的解析の方法と目的

島津委員より、動的解析の主な方法について説明があった。

(質疑)

1) 井上委員より、複数の要因が含まれると結果の考察がしにくくなるため、現行耐震設計の地盤水平変位がどの程度危険側かを考察するためには、まず均一地鑑で応力レベルによる変形係数の違いのみを考慮した場合の地盤水平変位を出すべきであること、またN値は原位置における標準貫入試験の結果であるため、N値より算出した変形係数を用いれば、結果的に応力レベルを考慮したことになる可能性もあるとの意見があった。

付録 1-14
幹事会(H28.10.22) 報告	■ 開催概要 日 時:平成28年10月22日(土)13:00-17:30	場 所:天王寺都ホテル 出 席:東田、吉村、井上、三品、島津 資 料:なし	 	 (主な討議内容) (主な討議内容) ・ 解析ケースにおける既設管の状態とジョイント要素の挿入位置について討議した。 ・ 既設管の状態については、複合管が更生対象とする既設管の状態と減合管に対する集中 線市重載荷試験の有無の点から解析ケースが議論され、損傷レベッががN(損傷無し)し、 H、HHHの老朽既設管は解析しないこととなった。 ・ 植 レベルかの既設管は解析しないこととなった。 ・ 複合管が更生対象とする既設管は「鉄筋が確全である」ことが前提であるため、鉄筋破 断後のHHH背は複合管の更生対象外となるとの意見があった。また、鉄筋が確全であ ればそもそも更生する必要はないので、複合管による更生は矛盾があるとの意見があっ た。 ・ ジョイント要素の挿入位置については、プロファイル・充填モルタルの開と充填モルタ ル・既設管の間のジョイント要素挿入の必要性が議論され、プロファイルが全体の剛性 に与える影響と集中線市重載荷試験の結果からジョイント要素の挿入箇所を決定する た。 ・ ジョイント要素の挿入の必要性が議論され、プロファイルが全体の剛性 に与える影響と集中線市重載荷試験の結果からジョイント要素の挿入箇所を決定する た。 ・ ジョイント要素の挿入の必要性が議論され、プロファイルが全体の剛化 たらたった。 ・ ダーイントのの間と充填モルタルの間と充填モルタ んの破壊については、どのような状態を破壊と見なすのかの判定が困難と予想され なった。 	 2. 改訂ガイドラインの参考資料について 国谷井 ノッコーン、C-4世にて会さキナ 中田田市がお田 アンスト国権注意にする英国中心
7 更生管の地震時挙動解析の進捗報告 吉村委員より、複合管におけるFEM解析の進捗について報告があり、管と近傍地盤の	モデルが構築できたため、解析条件について討議していただきたいとの依頼があった。	(質疑) (質疑) (生野委員より、この解析を行なって、どのように安全性を評価するのかとの質問があり、レベル2 地震動に対して保有すべき要求性能や安全性に対する照査項目について 討議が行われた。 	 井上委員より、集中線荷重載荷試験のシミュレーションに用いた既設管の FBM 解析モデルは損傷が規定されているため、設計法に対する解析としては既設管もしくは既設管とがは生きとかないの両方を土要素として扱った方が終局状態のモデルとして適切ではないかとの意見があった。 第 東田代表より、本日の討議を踏まえて、解析の進め方(目的と方向性)について2週間程 	 8 今後の予定について 今後の研究会と幹事会のスケジュールについて調整が行われ、以下のスケジュールにて 本研究会を進める予定となった。 幹 章 会 10月22日(土)13:00~ 天王寺都ホテル 第8回研究会 10月25日(火)13:00~ 中央復建コンサルタンツ本社 幹 事 会 11月29日(火)13:00~ 土木学会関西支部 第9回研究会 12月16日(金)13:00~ 土木学会関西支部 	

第8回研究会 議事録	■ 開催概要	日 時:平成28年10月25日(火)13:00-18:00	場 所:中央復建コンサルタンツ株式会社 本社 中会議室	出 欠(敬称略): ※下線: 欠席	東田、吉村、井上、三品、小高、 <u>寒竹、矢野、日野林、高塚</u> 、谷川、島津、 <u>九吉、</u> 1-27 - ヘル・1-2-	大愁、今并、山本) ※ ※: :::	資料 08-0 第 8 回研究会開催案内	資料 08-1 第 8 回研究会議事次第 ※約 no.o.1 第 7 同应如公義重命	同年 00~1~2~1~2~1~2~2~2~2~2~2~2~2~2~2~2~2~2~2	同年 00~2~ 18日 目の所所 米田に つく・ヘーログ 18月) 教社106:0:0:0 描入額に酸抗条件 バラバン 一公井・ 市田の シード (本井米昌)	夏午 2011年、「「「「「「「」」、「」」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「	資料 08-2-1-2 2016 年 10月 22 日幹事会議事録(速報メモ)	資料 08-3 老朽管・更生管の地震時挙動解析 (吉村委員)	資料 08-5-1 動的解析の手法と現状について(山本委員)	資料 08-5-2 神戸海洋気象台の速度応答スペクトルについて(島津委員)	資料 08-6・1 周面 せん断力による土圧について(島津委員)	資料 08-6-5 シールドの解析結果(島津委員)	■ 議事概要	1. 代表挨拶	東田代表より開会の挨拶があり、公益信託下水道振興基金研究助成金は受理されなかっ	たとの報告があった。また、12 月の研究会以降に報告書の作成に着手する必要があり、老	朽化した既設管、および更生した管の地震時挙動に関して本研究会で得られた知見を可能	な限り報告書に盛り込みたいので、引き続き協力を頂きたいとの依頼があった。	2.議事録確認	井上禿昌上り前回(第7回)研究会と 10 月 99 日に関係された鈴重会の職重約の報告が	バヨネズマンド日 37-11、約2340-12、1-11に20年132541キオン版+322411、2011年14年14年14年14年14年14年14年14年14年14年14年14年1	あるため、参加者の確認後、改めて各位委員に配信することになった。		1) 第 7 回針究会議事録6の 1)について、下水通航票設計例で想定されている地展時の一
設計方法を参考資料として掲載することになっており、東田代表と三品委員に対して大阪 市担当者から記述に対する意見を求められているので、両人が対応することにした。これ	に関連して、二層構造管の設計について討議が行われた。		(王な討議内谷) 	 三品委員より提示された概念図は、管体のみの耐力の変化と地中に埋設された状態の安 定件の変化が混在しているため、両者を分けるべきとの意見があった。 		3. シーラドナグメントの盤括結果につごと	○・/ デーロン・/・クロコモモト /・ 、		(主な討議内容)	 解析結果によれば、シールドセグメントの耐力が保たないことに関し、現時点では文献 	に示された計測結果に基づいて常時の外圧を水圧のみとして検討しているが、実際には	接合ボルトでモーメントが緩和される影響もあるため、外力を水圧のみとすることは条	件を過小評価しすぎではないかとの意見があった。																	

次モードの地盤変形の問題について、耐震計算例と同じ地盤構成で一次元動的解析を 行って地盤変位を求め、耐震計算例の地盤変位とどの程度異なるかをまず調べたうえ で、顕著な相違が認められた場合には要因分析を実施したいと考えている。

2) 幹事会議事録1の三つ目の・について、HHH管は複合管の設計対象外であるが、複合管による更生後に既設管の劣化が進行した状態とみなすことができるため、解析対象としたい。

3. 複合管の解析条件について

谷川委員より複合管設計の実態について説明があり、実際の複合管設計ではコンクリー ト強度や鉄筋量を50%低減したものと仮定して設計する場合があること、既設管の強度 を全く見込まずに実質的に自立管として設計する場合もあること等が報告された。また、 今井委員より以前に検討された既設管の損傷度分類の内容が紹介された。

(電艇)

- 三品委員より、コンクリート強度が50%も低下することがあるのかとの質問があり、 井上委員より、コンクリートの強度自体が低下することはないが、既設の鉄筋コンク リート管がひび割れなどの損傷を受けた場合の影響を、設計上の割り切りとしてコン クリート強度を低減することで考慮していると思われるとの意見があった。
- 2) 東田代表と三品委員より、複合管でも自立管でも「老朽化した既設管に更生を施す」 という点は同じなので、複合管や自立管などの更生方法の違いによって既設管の強度 を考慮するかどうかについての設計の考え方を変えるのは矛盾するとの意見があった。
- 3) 複合管の解析対象とする既設管の損傷状態について議論が行われ、井上委員より、損 傷を規定すると規定した損傷以外は対象外となるため、既設管が健全な状態から完全 に喪失した状態まで網羅することが理想であるとの意見があった。
- 4) 東田代表より、損傷レベルがN(損傷無し)、L、H、HHHの老朽既設管の地震時解析、ならびに損傷レベルL、H、HHHの既設管を更生した管の地震時解析をそれぞれ実施することにより、老朽既設管と更生した管の地震時挙動、および更生後に進行する既設管の劣化に伴う更生した管の地震時挙動の変化をそれぞれ捉えたいとの説明があった。

4. 老朽管・更生管の地震時挙動解析

吉村幹事長より、FEMによる老朽既設管と更生した管の地震時挙動解析について説明があり、すでにモデルは構築できているため、本研究会での議論を踏まえて解析条件を決定し、解析を実施する予定であることが報告された。

(質疑)

1) 井上委員より、PS 管・充填モルタルの間と充填モルタル・既設管の間のジョイント要素はどちらも完全滑動条件とするのかとの質問があり、吉村委員より、それぞれを滑動、結合とした 4 通りの条件の解析結果と更生した管の集中線荷重載荷試験の比較によって判断するとの回答があった。

5. 動的解析の手法と現状について

山本委員と島津委員より動的解析手法の説明があり、下水道耐震計算例のタイプ1土質 モデルの動的解析による地盤変形が報告された。

(質疑)

- 1) 井上委員より、下水道耐震計算例で設定している均一地盤と動的解析の地盤の水平変位を比較すると、動的解析の方が全体的に大きくなっているのはなぜかとの質問に対し、山本委員より、動的解析に用いた神戸海洋気象台地盤の応答スペクトルが、下水道指針の応答スペクトルよりやや大きいためと想定されるとの回答があった。
- 2) 島津委員より、耐震計算例で想定している地盤は中央に軟弱地盤があり、水平変位が あまり出ない地盤となっており、地層構成によっては地盤の水平変位が危険側になる 可能性があるとの意見があった。
- 3) 東田代表より、まず均一地盤で変形係数の応力依存性を考慮した場合に、どの程度地盤の水平変位が変化するのかを見極めたいとの意見が出され、この意見にしたがって山本委員と島準委員が引き続き検討することになった。

6. 周面せん断力による土圧について

島津委員より、ばねモデルにおける周面せん断力・による土圧の算出方法について説明があり、管に働く土圧 pと周面せん断力・は異なるため、今後は周面せん断力・によって管に働く設計土圧 $p \geq p = \tau - k\delta_0 \geq U て算定し、実験や解析によって得られた土圧 <math>p \geq 比較することになった。$

7. シールドセグメントの解析結果

島津委員と山本委員より、シールドセグメントのFEM 解析結果について説明があり、解析結果を用いた耐力照査では、RC セグメントで正曲げと負曲げのどちらも耐力をオーバーする結果となったことが報告された。

(質疑)

井上委員より、過去の実測例から外圧を水圧のみとしたことにより、セグメントに働く軸力が小さくなり、曲げ耐力が低下したのではないかとの意見があった。

幹事会(H28.11.29) 報告	 開催概要 日 時: 平成 28 年 11 月 29 日 (火) 13:00-18:00 場 所: 土木学会関西支部 出 席: 東田、吉村、井上、三品、島津、山本 資 料: (東田資料) (東田資料) 資料1 20161129 幹事会議題 答約3 11 鳥素 地下穩浩動の動電影卦坊腔 	資料3 地下構造物の耐震設計技術に関する研究報告書(平成2年3月・平成3年3月) 報告書抜粋 資料4 下水道振興基金申請書	資料5 2016年度報告書 目次案 (吉村資料) 資料6 老朽した RC 管の常時・地震時の FBM 解析 資料7 更生管の剛性評価の FBM 解析 資料8 更生管の常時・地震時の FBM 解析	(山本資料) 資料9 メモ帳 (幹事会資料) 資料10 ① \sim ③水平変位の比較 資料11 ④RC管FEM モデル用変位データ 資料12 ④FRPM 管FEM モデル用変位データ (島津資料) 資料13 161129_幹事会_Box 反力分布	■ 議事概要 次回研究会に向けて幹事会を開催し、以下の討議を行った。	 下水道耐震設計計算例の周面せん断力の計算方法 東田代表より、下水道耐震設計計算例では周面せん断力をばね先に載荷しているがこれ は誤りであることが説明され、計算例における周面せん断力の方向成分の取り方の疑義に ついては内容の確認が必要であるとの指摘があった。 	
3) 東田代表より、セグメントの剛性をヵEIとし、ヵを 0.6 まで落としても解析によって得られた曲げモーメントはそれほど減少せず、耐力を保持するためにはヵを一杯以上	落とす必要があり、『による BI の低下には限界があるこことがわかったので、現場の測 症事例に合わせて常時外力を水圧のみにしたとの説明があった。 3) 東田代表より、ゼネコンへのヒアリングにて、耐震計算例で採用されたセグメントは 通常よりも桁高が小さすぎるとの意見があったことが紹介され、計算例に示された RC セグメントの曲げ耐力の安全率もほぼ 1 で、かなり際どい設計になっているとの指摘 があった。 4) 東田代表より、常時土圧を下水耐震設計例のものとした場合の地震時の耐力照査の結 果を見たいとの要望があり、この場合の耐力用重を行うこととなった。	8. ボックスカルバートの解析結果報告 島津委員より、FEMによるボックスカルバートの解析結果が報告された。	(質疑) 1) 東田代表から、底版に作用する解析土圧がほぼ均一になっているのはこれまで実施し た遠心実験や FEM 解析と異なっているとの指摘があり、井上委員より、地下水圧を考 慮しているため浮力の影響が想定されるとの意見があった。	 今後の予定について 今後の研究会は以下のスケジュールにて進め、第9回研究会後に報告書の執筆にとりか かる予定となった。 第 11月29日(火)13:00~ 土木学会関西支部 第9回研究会 12月16日(金)13:00~ 土木学会関西支部 			

付録 1-22

~	
RC t E M >	
まるものの、	
容応力に収	ů,
の応力は許	が報告されけ
セグメント	超えること
あり、鋼製	力を大きく
いて報告が	カは終局耐
定性につ	ントの応い

(主な討議内容)

 東田代表より、測定土圧の文献調査や施工業者へのヒアリングに基づいて、常時はセグ メントに水圧しか作用していないと仮定したが、これによりRCセグメントでは常時の 軸力が耐震計算例よりも小さくなり、地震時の発生応力が曲げ耐力を超える結果になったの説明があった。

3. 老朽管と更生管のFEM解析

吉村委員より、老朽管と更生管に対するFEMの解析結果が報告された。

(主な討議内容)

- 東田代表より、今回の解析で用いている損傷 RC 管の荷重 P 一給直変位 8、関係は二層構造管作製時のものであり、解析対象の複合管の損傷 RC 管のものとは異なるので、注意しておくべきであるとの指摘があった。
- 東田代表より、RC管のクラックをモデル化するために挿入したジョイント要素近傍に おけるモーメントは、平面保持の仮定を逸脱しているため、本来は削除すべきであると の意見があった。
- RC 管の開口ジョイント要素付近の土圧 σがゼロに近い理由に関連して、方向が異なる ジョイント要素の交差箇所における変形挙動について議論があり、吉村委員よりこれま での解析では問題を生じていないとの説明があった。
- 井上委員より、HHH 管は RC 管の断面に細かいピッチで満遍なくジョイント要素が入っているため、土圧と曲げモーメントの分布はほぼすべて特異値なのではないかとの指摘があり、土圧と曲げモーメントの分布の妥当性について引き続き検討することとなった。

4. 下水道協会の委員会の動向

三品委員より、更生管のガイドライン改訂に向けた下水道協会の委員会の動向について 報告があった。

5. 地震時水平地盤変形に関する動的解析

山本委員より、神戸海洋気象台の測定地震波を耐震計算例の地盤条件に対して入射した 場合、動的解析で求めた RC 管と FRPM 管の管頂,管底の相対変位の最大値は下水道耐震 設計計算例が仮定する一次モードの地震時地盤変形から求まる相対変位よりもかなり大き くなったとの報告があった。

(主な討議内容)

東田代表より、今回の動的解析から得られた地盤変形を地盤側方に与えた場合、下水道耐震設計計算例の一次モードの地盤変形の場合に比べて管にとって危険側となる可能性が高いことが確認されたことから、この問題を引き続き検討する必要があるとの意見があった。

6. ボックスカルバートの底板に作用する地盤反力

島津委員より、ボックスカルバートの底板に作用する地盤反力で端部の応力集中が見られなかった理由として、底板下の地盤厚(基礎厚)が小さかったことと、地下水位による浮力の2つの影響が想定されるとの報告があった。

(主な討議内容)

 東田代表より、底板の反力土圧がほぼ等分布になったのは基礎厚が小さかったことが主 な原因であることが確認されたので、適切な基礎厚の選定に向けてさらに検討を続けて ほしいとの要請があった。

7. 今年度報告書の作成

東田代表より、今年度の研究会の報告書の目次案が提示され、次回の委員会で確認され たのち、目次案にしたがって報告書をとりまとめていくので、幹事の協力をいたださたい との依頼があった。

8. 次年度以降の活動計画

東田代表より、本研究会の活動は今年度で終わるが、地震時地盤変形の影響確認などの 新たな課題が生じたので、別の研究組織を立ち上げたいとの意向が示され、引き続き幹事 の協力をいただきたいとの要請があった。

■ 今後の予定

12月16日(金)13:00~ 第9回研究会(最終) 土木学会関西支部

1) 三品委員より, 耐震計算例に間違いがあるのであれば, 著作権者である版元の下水道 協会に指摘し,修正してもらうべきとの意見があった。 させる内容になっていると判断できるとの報告があった。 析によって検討していくことになった。 3 耐震計算例の周面せん断力について 5 老朽管と更生管の FEM 解析 4 健全な管きょの FEM 解析 ることになった。 (質疑) ର 3 資料 09-3-3 川田テクノシステム下水道耐震 2014 指針(管本体)操作解説書(山本委員) 丸击, 谷川、島津、 **資料 09-3-1 耐震計算例の周面せん断力の扱い方について(東田代表)** 東田、吉村、<u>井上</u>、三品、小高、<u>寒竹</u>、矢野、<u>日野林、高塚</u>、 資料 09-3-2 GEOLIS と耐震計算例の結果の差について(今井委員) 議事録 (吉村委員) 資料 09-5-3 老朽管のσと変位図の関係について(東田代表) (吉村委員) 更生管の剛性評価に対する FEM 解析 時:平成28年12月16日(金)13:00-17:20 資料 09-7-1 報告書,MS,災研の書類(東田代表) 回研究会 2016年11月29日幹事会議事録 地盤変形の動的解析(山本委員) 老朽管と更生管の FEM 解析 所:土木学会関西支部 会議室 資料 09-1 第 9 回研究会議事次第 資料 09-0 第 9 回研究会開催案内 資料 09-2-1 第 8 回研究会議事録 ດ 欠(敬称略):※下線:欠席 箫 今井、山本 (以下、当日配布資料) 大松、 開催概要 資料 09-5-1 資料 09-5-2 資料 09-6-1 資料 09-2-2 * 迩 Ш 聖 H

■ 議事概要

代表挨拶

については、今後、メールなどでの議論としたいこと、今回の山本委員の報告による「地盤 東田代表より開会の挨拶があり,島津委員の欠席により,「4.健全な管きょの FEM 解析」 変形の動的解析」については,次年度以降,さらに検討していきたいことが述べられた。

2. 議事録確認と経過説明

吉村委員より前回(第 8 回)研究会と 11 月 29 日に開催された幹事会の議事録の報告が あった、 三品委員から管更生委員会の動向についての説明があり、複合管の地震時挙動で嵌合部 材の伸びについて議論になっていることが報告された。これに関連して、今井委員から熊 本地震の被災で、ダンビー工法で更生した管の嵌合部材が数ミリ程度開いたが、水漏れは なかったことが報告された。

解させる図が掲載されており、二つの耐震計算ソフトでも、周面せん断力をばね先に作用 東田代表から、応答変位法では地震時地盤応力(周面せん断力)を直接構造物に作用させ ることになっているが、下水道施設耐震指針では周面せん断力をばね先に作用させると誤

- 山本委員を中心に、市販ソフトを用いて周面せん断力の計算内容をさらにチェックす
- 今井委員を中心に、耐震計算例で示されている周面せん断力による荷重をフレーム解

島津委員欠席のため,内容についてはメールなどによって議論することになった。

る FEM 解析と同じ手法で行った常時, 地震時増分の FEM 解析の結果が示され, 老朽レベ ルを三通りに変えた老朽 RC 管の解析, ならびにこれらを更生した管では, 既設管の老朽レ ベルによる管の変形、土圧、曲げモーメントが変化する状況が報告された。また、更生管の 剛性評価に対する FEM 解析の結果から、PS 管・モルタル、モルタル・RC 管の間にそれ 吉村委員から, 老朽化した RC 管, および更生管について, 昨年度の健全な RC 管に対す ぞれ挿入したジョイントはともに slip 条件が妥当であるとの報告があった。

(質疑)

- 1) 東田代表から、老朽管の土圧と変位図の関係について補足説明があり、変位図では土要 素が接線方向に変位しているため、圧縮の垂直土圧が管に作用していても管面で土と **管が開口しているように見えることがあることが示された。**
- 答された。これに対して東田代表から, 更生 L 管と更生 H 管・更生 HHH 管の変位量 の差は、それぞれレベル Lの既設管が更生後、レベル H, レベル HHH まで老朽化した の BC 管の老朽レベルが H, HHH と進行していく時の更生管挙動の時間的変化を対象 しているので、外側の BC 管の老朽化の時間的変化を考えているものではないことが回 矢野委員より,今回の解析は,老朽レベルLの既設 BC 管(既設 L 管)が更生され,外側 としなくても良いのかとの質問があり, 吉村委員から FEM では老朽レベルごとに解析 ର

幹事会(H29.1.30) 報告	 開催概要 時:平成 29年1月 30日(火)13:30-16:00 場所:中央復建コンサルタンツ株式会社東京本社 出席:東田、井上、今井、島津 資料:※メールにて事前送付。 1. Box の Hb について 2. シールドセグメントの照査結果 3.1 耐震計算例の地震時増分荷重の扱い方に関する東田メモ 	 3.2 「地下構造物の耐震設計技術に関する研究、平成元年度共同研究報告書」の解の検討解の良しこみの検討 3.3 つり合い状態にある管についての考察 3.4 耐震計算例計算ソフトー覧表 3.5 第5回研究会島津資料 160506_相対変位による土圧分布について 	議事概要 Box カルバートとシールドセグメントの提案設計法検討と今年度の活動報告書の作成に向けて幹事会を開催し、以下の討議を行った。	1. Box カルバートの基礎厚 Hb による変化(結果の確認) 島津委員より Box カルバートの基礎厚 Hb たよる変化(結果の確認) 居なし)に変化させた解析結果が提示され、Hb が小さくなると底板反力隅角部の土圧集 が減り、Hi,=175cm(水圧なし)ではさらに隅角部の土圧集中が増大したことから、底板 力隅角部の土圧集中には Hb と水圧が影響していることが報告された。この結果から、7 f の地盤工学研究発表会では、Hb=30cm の場合について提案設計法と耐震計算例の比較を3 表することに決定した。	2.シールドセグメントの計算結果 島津委員より RC セグメントと ST (鋼製) セグメントの検討結果が提示され、FEM 角折では両セグメントとも常時、地震時の耐力を超過すること、および常時で両セグメン が安全となるのは、FEM で荷重を土圧ゼロで水圧のみと想定したケースと耐震計算例の他 用法に拠る土圧載荷のケースであったことが報告された。
場合の変位量の増分と評価しても良いのではないかとの意見があった。	6 地盤変形の動的解析 山本委員より, 耐震計算例が採用しているタイプ1土質モデルについて重複反射理論に 基づく動的解析によって求めた地盤変形が示され,同一時刻における管頂・管底の相対変位 の最大値は, 耐震計算例と同様の一次モードの地盤変形の場合よりも大きく, RC 管で約4 倍, FRPM 管で約1.3倍となったことが報告された。 (質疑) (質疑) 1) 東田代表より, 浅く埋設される下水道管では, 耐震計算例の手法よりも動的解析による	手法の方が管にとって危険側の地盤変形となり、動的解析で求めた地盤変形を FEM に 取り込んで管の挙動を定量化する必要性が確認されたので、次年度以降、このテーマを 追求して欲しいとの依頼があった。 7 H28 年度報告書について 東田代表より、最終の報告書はワークショップ終了後、1 か月以内に提出なので、土木学	会、地盤工学会への投稿論文を作成し、それらをベースにして H28 年度報告書を作成する との方針が示された。 8 そのH	東田代表から, 以下の報告と要請があった。 東田代表から, 以下の報告と要請があった。 ・ 平成 29 年 5 月 27 日, 大阪工業大学大宮キャンパスでワークショップを開催するこ とが報告された。 ・ 予算の執行状況が報告された。なお, 予算の緒切がワークショップ後であることを 学会事務局で確認した。 ・ 次年度以降の研究活動を災害科学研究所・特定研究 B として継続したいので, 会員 は引き続き参加してほしいとの要請があった。	

Jとするのであれば、常時でシールドが疲れていない事実を理由に常時の計算方法は耐 豪設計例が適当と判断することは不適切ではないかとの意見があった。 をグメント間継手部でモーメントがかなり吸収されているのではないかとの意見に対 、 リングの EI を減少させ、地盤の B を増大させた FEM では、モーメントはかなり 食少するが、RC セグメントは耐力をクリアーできないことが報告され(第 6 回研究会資 146.5-1)、これに関連して、実際に組まれたセグメントの EI に関する文献を調査する	 平成 28 年度土木会関西支部共同研究グループ 老朽化、および更生した下水道管きょの耐震設計法に関する研究(略称:耐震設計法研究会) 2017年4月20日幹事会 議事録
になった。 ほ博労分電の扱い方 (表より、①耐震計算例の地震時増分荷重の扱い方、②平成元年度報告書における (、③つり合い状態にある管に働く土圧についての考察、④耐震計算例のソフトの スレミングによる相対変位による土圧について説明があり、実際に管に働く土圧(実 M で求められる土圧)と比べるべき地震時増分設計土圧は、相対変位に起因する土 M で求められる土圧)と比べるべき地震時増分散計土圧は、相対変位に起因する土 にせん断力からそれぞればね反力を差し引いた土圧の和とすべきことが示された(下 :照)。さらに、耐震計算例の地震時増分荷重による断面力算定では、相対変位に起 :圧と周面せん断力をそれぞれ単独に載荷して両者を足しこむ方法、および両者を (荷する方法の二通りがあるが、両者は理論的に一致することが報告された。	 開催概要 時:平成29年4月20日(火)13:00-16:00 時:平成29年4月20日(火)13:00-16:00 時:中央復建コンサルタンツ株式会社 時:中央復建コンサルタンツ株式会社 時:1、中土、島津、山本 資料1、地人防剛性等 資料1、世人防剛性等 資料2、RC管の解析結果 No.1 資料3 管上部の Es を変化させた場合の RC 管の解析結果 No.2 資料4 投稿予定論文(未定稿) 資料5 管上部0 Es を変化させた場合の RC 管の解析結果 No.3 資料5 管上部0 Es を変化させた場合の RC 管の解析結果 No.3
回研究会資料 p.16~17 の 2016.12.12 東田メモは誤り なので削除。さらに、p.22 10.17 東田メモの最後の朱書きの追記を削除(元の 2016.10.17 東田メモが正解)。 . の予定 .会での成果(報告書)は 4 月中に作成し、H29 年 5 月 27 日開催の WS(ワークシ にて報告することを確認した。	 議事概要 1. RC 管の FEM 解析結果 1. RC 管の FEM 解析結果 高洋委員より、耐震設計計算例のタイプ1 土質モデルに神戸海洋気象台地震波を与えた応答解析によって得られた地盤の水平変位と地盤の剛性率の変化(資料 1, 1)、ならびにそれたるを与えた FEM 解析によって得られた RC 管の土圧とモーメント(資料 2, 3)がそれぞれ示された。そして、この解析結果と神戸波で生じる共振一次モードの地盤変形と一定の地盤のせん断剛性を与えた FEM 解析結果とを比較したところ、前者では地震時に水平変位が大きい層はせん断剛性が大きくなったため、RC 管の土圧と変形はこの両者の影響が相殺されて、どちらが厳しい条件となるのかは一概に言えない結果となったことが報告された。
	(主な討議内容) ・ 東田代表より、今回のRC 管の FEM 解析で得られた M _{max} (資料 2)は、一次モードの地 廣時の地盤水平変位の場合の M _{max} よりもやや大きいが、RC 管周囲の土層の <i>B</i> の与え 方に疑問があるのでこの影響を確認すべきとの意見が出され、これを修正した解析を追 加してみたところ(資料 5)、M _{max} は一次モードの地震時の地盤水平変位の場合の M _{max} とあまり変わらない結果となった。

平成 28 年度土木学会関西支部共同研究グループ 老朽化、および更生した下水道管きょの耐震設計法に関する研究 (略称:耐震設計法研究会) ワークショップ 議事録 目 開催概要 日 時: 平成 29 年 5 月 27 日 (+) 13:00-15:00	 場所:大阪工業大学 大宮キャンパス 1号館 133 教室 プログラム: 13:00~13:10 開会挨拶・活動報告(東田代表) 13:10~13:30 提案設計述の改良点と健全なボックスカルパートの地震時挙動予測(島 津委員) 13:10~13:55 健全なシールドセグメントの地震時挙動予測(東田代表) 13:30~13:55 代憩> 13:50~13:55 13:55~13:55 13:55~13:55 13:55~14:25 若朽化および更生した管きょの地震時挙動予測(井上委員) 14:15~14:15 ディスカッション 14:15~14:15 ディスカッション 14:15~14:15 14:15~15:00 14:15~15:00 14:15~15:00 14:15~15:0 14:15~15:00 14:15~15 25/12:55 57/10 14:15~15 57/10 14:15~15 57/10 14:15~15 57/10 14:15~15 57/10 14:15~15 57/10 14:15 57/10 	 報告内容と質疑 上木学会関西支部年次学術講演会に合わせてワークショップを開催し、平成 28 年度の活 動成果を報告した。 1. 開会挨拶・活動報告 東田代表より、2014 年と 2015 年に改訂された下水道管きょの現行耐震設計法(設計指 対とマニュブル)には応答変位法の採用、ならびに老朽化または更生した管きょを対象と していないことなどの問題点があるため、合理的な耐震設計法の提案を目的として昨年度 より共同研究グループとして研究活動を開始し、本ワークショップで 2 年間の研究成果を 報告するとの挨拶があった。 2. 提案耐震設計法の改良点と健全なボックスカルバートの地震時挙動予測 高達委員より、弾性 FEM に基づく提案耐震設計法の改良点、ならびに提案耐震設計法と 現行耐震設計法による健全なボックスカルバートの地震時挙動の予測が示され、提案耐震 設計法に比べて現行耐震設計法はボックスカルバートの地震時挙動の予測が示され、提案耐震
 東田代表より、耐震計算例に示された BOX カルバートの埋設条件は、土層の Bの変化 の影響が RC 管よりも大さいと想定されるため、BOX カルバートの解析を行ってこの 影響程度を確認すべきであるとの意見があった。 井上委員より、今回の解析結果は耐震設計計算例で示されている埋設条件の場合のもの であり、この解析結果によって一次モードの地盤水平変位が適切か否かを判断できない ので、地盤のせん断剛性が変化した場合のバラメータスタディをして傾向を把握する必 要があるとの意見があり、東田代表より、BOX カルバートの FEM 解析結果を見て、 政めて検討の継続の必要性について討議したいとの方針が示された。 	 4後の予定 今年度で本研究会が終了となるため、土木学会関西支部の年次学術講演会に合わせて開 催する本研究会のワークショップへの参加を呼び掛けることになった。 以上 	

結果が報告された。

3. 健全なシールドセグメントの地震時挙動予測

東田代表より、提案耐震設計法による常時と地震時のシールドセグメント(鋼製セグメン トと RC セグメント)の挙動子測結果が報告され、常時・地震時ともに作用力が耐荷力を大幅に越え、実際に施工されたシールドセグメントの常時における破損が生じていない実態 と矛盾すること、さらに既存の多数の計測結果に基づいて常時に水圧のみを作用させた場 合、ならびに設計マニュアルに記載された常時荷重を採用した場合とも、RC セグメントで は地震時に作用力が耐荷力を大幅に越える結果となったことが報告された。

4. 老朽化および更生した管きょの地震時挙動予測

井上委員より、提案師震設計法を老朽化した既設 RC 管とそれを更生した管きよに適用した場合の結果が報告され、更生した管きょでは管の変形量が既設 RC 管よりも減少し、定性的に耐荷力が向上することが確認されたが、応力照査による定量的な耐荷力の増加は今後の課題であるとの報告があった。

5. 地震時の地盤変形予測と耐震設計法

山本委員と島津委員より、重複反射理論に基づく応答解析によって得られた地震時の地盤変形と地盤剛性の低下を与えた場合、浅い埋設管さょ、特にボックスカルバートのケースでは、現行耐震設計法が仮定する一次モードの地盤変形と一定の地盤剛性の条件は危険働となることが報告された。

6. ディスカッション

以上の報告を受けて、以下のディスカッションが行われた。

(質疑)

宮川豊章先生(京都大学名誉教授)より、下水道管には様々な劣化の形態があると思われるが、本研究ではどの程度の劣化を網羅しているのかとの質問があり、井上委員より、本研究では、あくまで集中線荷重載荷試験による破壊形態による耐荷力の低下を対象としたとの回答があった。

7. 閉会挨拶

東田代表より閉会の挨拶があり、いくつか課題が残ったが、本共同研究グループの活動によって埋設管きょの新しい耐震設計法を提案するなどかなりの成果が出せたと考えていること、またシールドトンネルの耐震設計法についてはさらに検討を継続する必要があることとが述べられた。

付録 2

シールド計測文献集

シールド現場計測文献 沖積地盤

				セグメント	土被り高	水被り高	計測:	項目	
				外径	Н	Hw	土圧	水圧	
No	文献名	地盤	掘削形式	(mm)	(m)	(m)	(箇所)	(箇所)	結果
1	沖積粘性土中の併設シー ルドトンネル現場計測(そ の1)、三木克彦他、土木 44回年講、pp.102-103、 1989	N=0の沖積 粘土	泥水加圧	RC 7100	13	12.1	8	7	文献3の隅田川シールド。軸方向の みの鉄筋と表面のひずみ、リングの 目開き量、地表面沈下量の測定結 果。断面データなし。
2	沖積粘性土中の併設シー ルドトンネル現場計測(そ の2)、井出統一他、土木 44回年講、pp.104-105、 1989	N=0の沖積 粘土	泥水加圧	RC 7100	13	12.1	8	7	文献3の隅田川シールド。土圧はセ グメント組み立て後裏込め注入によ り大きく変動、1週間後には安定。土 圧>水圧、土圧−水圧≒1kgf/cm2。 水圧は静水圧よりも小さめ。
3	軟弱地盤中のシールドト ンネルの現場計測、水谷 敏則他、土木研究所資料 第2893号、1989	N=0の沖積 粘土	泥水加圧	RC 7100	13	12.1	8	7	隅田川シールド。文献1と2の詳細 版。後続シールド通過前の18日後の 土圧は、管の下半分は水圧と一致し てp'≒0、上半分のp'は浮力に対する 反力土圧となっている模様で、管頂 が最大。
4	シールドトンネルの作用 土圧に関する現場計測報 告書、真下英人他、土木 研究所資料第3428号、 1996	東南幹線 シールド: N=1~2の 沖積粘土	泥水加圧	RC 5000	29.3	28.6			東南幹線。測定土圧≒水圧。測定2 断面の43ヶ月後の全土圧は管底を 除いてほぼ均等で水圧とほぼ等しく、 pの分布は管底を除いてほぼゼロと なる。水圧分布を与えた時はM≒0と なるが、これは測定M≠0と矛盾する と述べている。 多数の測定データ結果(沖積粘土 10、沖積砂2、洪積砂5、洪積粘土1) の一覧表有り。(未チェック)
5	粘性土地盤中のシールド トンネルの作用土圧に関 する研究、真下英人他、ト ンネル工学研究論文・報 告書、第6巻、pp.333- 338、1996								文献3の隅田川シールドと文献4の東 南幹線の測定Mに合致するように設 計鉛直土圧と側方土圧計数を推定。
6	セグメントに作用する土・ 水圧および応力の計測結 果、大田拡・塩谷智弘他、 トンネル工学研究論文・報 告書、第7巻、pp.405- 410、1997	N=3~5の 沖積粘土 (qu=1.7-2.0 kgf/cm2)	泥土式	ダク 5300	14.09		5	4?	土圧・水圧ともテール通過後から1ヶ 月は減少。1-2ヶ月後以降、土圧は 増大、水圧は一定、よって有効土圧 は増大しているように見えるが、右側 部の土圧増大は疑問。これを除くと、 管頂の土圧のみ浮力による反力分 が増大しているように見え、他は一定 と見做せる。土圧は等分布に近く、M は設計よりもかなり小。
7	シールド洞道に働く荷重 計測結果とその分析につ いて、有泉毅他、トンネル 工学研究論文・報告書、 第8巻、pp.367-372、1998	川崎臨海 地区 N=3- 4の沖積シ ルト質粘土 (地盤データ あり)	泥水式	RC 3950	21.6	20.6	5(パッ ド式)	5	施工時土圧: テールシール接触圧は 大きいが、通過直後から安定し、下 半分がわずかに大きいが、ほぼ等分 布に近い。裏込め注入による増加は 0.5kgf/cm2程度。 長期土圧:施工後2ヶ月までは全体に 0.2kgf/cm2程度減少、夏季に同程度 上昇。長期的にはテール通過後から ほとんど変動しない。有効土圧=全土 圧-水圧の変動率は10%程度で、土 圧計測値の大半が水圧である。12ヶ 月後の土圧分布は管頂・管底が側部 よりも0.1-0.3kgf/cm2程度大きな少し 縦長の分布であり、設計土圧と形は 良く似るが、土圧強度は半分である。 変形は、テールシール接触から裏込 め注入までの数時間後に一定とな り、鉛直5mm伸び、水平5mm縮んで、 縦長となる。断面力はこの変形に規 定されている。

8	軟弱地盤におけるRCセグ メントの計測結果と考察、 矢萩秀一他、トンネルエ 学研究論文・報告書、第 12巻、pp.513-518、2002	N=0~4の 沖積粘土	泥土圧式	RC 9400	13.7–15.4	7	0	施工時土圧: テールシール通過時の 接触圧力の後、セグメント掘進時の 裏込め注入圧(3.65kgf/cm2)による土 圧変動を4回繰り返して2-2.9kgf/cm2 の範囲で安定する。裏込め材は4リン グ(1日)でqu=1kgf/cm2[こ固化。主鉄 筋の応力変化も土圧と同傾向。 長期土圧:時間経過とともに減少。 3ヶ月で一定となる。頂部と側部の変 化は小、底部で1kgf/cm2程度の減 少。土圧分布図は別紙。うまく測定で きていると思われる。水圧: データな いが、論文中に示された地下水位か ら静水圧分布を仮定すると、管の下 半分のp'=0、管頂のみp'が存在し、 浮力に対する反力土圧と推定され る。
9	軟弱粘性土地盤の圧密 沈下に伴うシールドトンネ ルの長期変形挙動と土 圧、焼田真司他、トンネル 工学研究論文・報告書、 第20巻、pp.329-335、 2010	N=1~3の 沖積粘土 qu=1- 2kgf/cm2 w=51-63% (≒wL)	泥水式	RC 6900	13.0–26.5	0	0	解析のみで、測定無し。GL-70m以浅 の圧密による圧縮と以深の膨張(地 下水位の回復による)に起因するトン ネル内空経年変化、地下水、地層の 圧縮膨張量の20年にわたる長期変 化データに基づくシールドトンネルの 三次元土水連成FEMによる解析土圧 が示されている。シールドトンネル周 面は排水条件とし、荷重増加は地表 面載荷で再現している。管面境界の 記述はないが、土圧分布から滑動と 推定される。
10	沖積層地盤に構築した シールドトンネルの変形に 関する考察、斉藤正幸 他、トンネル工学研究論 文・報告書、第4巻、 pp.55-62、1994 (第 5回研究会で配布済)							都営地下鉄の建設後10年を経過した シールドトンネルの変形量調査から、 洪積砂層の74箇所では変形なし、沖 積シルト層の38箇所では大半に変状 があり、+2~4mmの水平内空変位 が生じている箇所が多い。変形は10 年間にわたって継続的に進行してい ることから、発生原因はトンネル周辺 地盤の圧密沈下に伴う等分布鉛直 付加荷重の増加と推定している。な お地下水くみ上げの中止により、地 盤沈下はほとんど生じていないの で、広域的な地盤沈下はないが、異 常渇水などの影響で局部的な地盤 沈下は想定されるとしている。
11	内空断面測定および変状 展開図より把握したシー ルドトンネルの変形傾向、 津野究他、トンネル工学 研究論文・報告書、第17 巻、pp.257-261、2007							内空断面測定および変状展開図より 東京の地下鉄シールドトンネルの53 本739地点(沖積地盤39%、洪積地盤 61%)の変形傾向を調べ、18.9%で変状 (横長に変形が12.8%、縦長変形が 6.1%)があること、横長変形の方590% は沖積粘性土、残りが洪積地盤で生 じ、最大4mm程度の内空変化量であ ること、沖積粘性土の変状は圧密に よって生じ、内空水平変位量が最大 であった地点では、竣工後6年程度 は年間1mm、それ以後は変位の進 行が緩慢になったこと、横長変形の 箇所ではクラウン部のセグメントに複 数の軸方向ひび割れが発生している 割合が高いこと、などが述べられて いる。
12	周辺地盤の圧密沈下に伴 う既設シ ールドトンネル 作用荷重の変化メカニズ ム、有泉毅他、土木学会 論文集No.750/Ⅲ-65、 pp.115-134、2003							建設から10数年程度経過した軟弱粘 土中の地中送電用シールドトンネル の変状が粘土の圧密によって生じた と想定し、粘土中に埋めた外面を排 水境界とする模型シールドに働く垂 直土圧の分布を遠心場で測定した。 トンネルからの排水と粘土層全体が 圧密する場合の2通りの条件で測定 した増分土圧は、いずれも管の上半 分が大きく、下半分は極めて小さい 分布となったが、この土圧分布は模 型シールドが容器に固定されている ために生じていると思われる。トンネ ル境界が排水境界となって、低下し た水頭に相当する有効応力と粘土の 有効自重によって粘土が圧密すると いう推定メカニズムは、東田メモ (2016.7.5)と一致する。

13	軟弱粘性土地盤中のシー ルドレネルに働く長期荷 重に関する研究、有泉 毅、東京工業大学提出博 士論文、2006 (未配布)	文献12の博士論文
14	自然地盤沈下に伴うトン ネルへの増加荷重の検 討、小山幸則他、第29回 土質工学研究発表会、 749、pp.1995-1996、1994	第6回研究会で提示した東田メモ (2016.7.5)のcase2のトンネルが排水 境界となる場合と同じ考え方に基づ いてトンネル境界の有効応力を求 め、粘土層中の有効応力分布を直線 で与えた場合のトンネル土圧増分を FEMで計算している。トンネル排水境 界の有効土圧増分の考え方のみ有 効。

シールド現場計測文献 洪積地盤

				セグメント	土被高	水被高	計測項目	
				外径	н	Hw	土圧 水圧	
No	文献名	地盤	掘削形式	(mm)	(m)	(m)	(箇所)(箇所)	結果
1	RCセグメントの現場計測 とその考察、西野健三 他、土木40回年講、田- 165、pp.329-330、1985	50≦Nの 固結シル ト	泥水	RC 4500	14	11.5	86	土圧は、セグメント組み立て後1日までは裏 込め注入により急激に増加、その後1ヶ月 でほぼ安定、6ヶ月後まで緩やかに減少。 セグメント組み立て後20日後に設置した水 圧計による測定水圧はほぼ静水圧分布 で、120日後の土圧分布とほぼ等しい。鉄 筋応力は、裏込め時には偏圧荷重による 曲げ応力が発生、全体に軸力卓越。組み 立て5ヶ月後は圧縮軸力が卓越、曲げ応力 は発生していない。施工時の裏込め注入が 設計断面を左右する可能性を指摘。
2-1	シールドトンネルに作用 する土圧の計測につい	50≦Nの 第三紀粘 土(固結シ ルト)	泥水	RC 4500	14	11.5	86	文献1と同じ計測。裏込め注入から2週間の 土圧が最も大きく、15日-1ヶ月の間裏込め 注入の影響が残り、土圧の低下率は61%で あった。5ヶ月後にほぼ安定する。250日後 の土圧と水圧はほぼ等しい。
2-2	て、西野健二他、土木43 回年講、亚-481、 pp.1004-1005、1988	第四紀砂	泥水	RC 4500	12.5		86	裏込め注入から2週間の土圧が最も大き く、45日後まで裏込め注入の影響が残り、 低下率は56%であった。3ヶ月後にほぼ安定 する。180日後の土圧に占める水圧の割合 は平均87%でかなり高い。
3	泥水式シールド掘進に 伴う硬質地盤の変形解 析について、中野隆他、 土木学会論文集、第397 号/VI-9、pp.133- 141,1988	洪積砂お よび砂礫 (N>50)	泥水	9800	16.9 24.0 30.2	13.15 13.5 23.34	無し 無し	地表面沈下量は硬質地盤と軟弱地盤で明 らかな差があり、硬質地盤は弾性範囲内で 変形、軟弱地盤は土の乱れによる変形が 付加されることから、両地盤を分けて変形 を考えるべきと指摘。 3現場 における泥水シールド掘進に伴う地盤変形 の測定結果から、硬質地盤の変形はテー ルボイド部の応力解放が主要因で、解放応 カ=地中応カー泥水圧であり、地中応力 は鉛直>水平、泥水圧は等方なので、解 放応力は鉛直方向が主体となること、裏込 め注入圧はテールボイド内の泥水を押し出 すため、泥水圧よりも大に設定されることを 指摘。
4	洪積地盤におけるシー ルドトンネルの現地計測 結果と考察、小山幸則 他、トンネルエ学研究発 表会論文・報告集、第5 巻、pp.385-390、1995	洪積砂 (N=20~ 50)	泥水	9800	13			計測結果は断面力のみ提示。測定土圧は データなしで結果のみ記述。全土圧はセグ メント組み立て後10~30日以降安定、水圧 はほぼ一定で、土圧とほぼ同程度。Mはご く小さく、測定Mの分布はトンネルクラウン 部以外で水圧が働き、クラウン部で浮き上 がりに抵抗していると仮定した場合の解析 Mに近かった。
5-1	セグメントに作用する土・ 水圧および応力の計測 結果、大田拡他、トンネ ル工学研究論文・報告 集、第7巻、pp.405-410、 1997 (沖積 6-1~6-4)	N=8~9の 大阪層群 粘土 (qu=5.4 kgf/cm2)	土正式	RC 5300	28.2		8 4?	 #1断面:注入圧1.5 kgf/cm2、1ヶ月までは、 裏込め注入により初期土圧が3-4kgf/cm2 まで上昇後、上下部で少し減少。水圧はほ ぼ変化なく、大きさは深さに比例。1ヶ月後 では、管底土圧≒水圧。それ以外は土圧 >水圧。土圧は管底を除いて等方的で、M は設計よりも極めて小。 #2断面:注入圧0.5 kgf/cm2、4日後の初期 土圧は上部で3kgf/cm2、両側と下部で 2kgf/cm2。1ヶ月後には管頂で3.2kgf/cm2とな る。水圧は初期1ヶ月で緩やかに増大した 後、一定となり、管頂で1.5kgf/cm2となる。よっ てpは管頂で1.7kgf/cm2、管側で 1.7kgf/cm2、管底で1.8kgf/cm2となる。よっ てpは管頂で1.7kgf/cm2、管側で 1.4kgf/cm2、管底で1.0kgf/cm2となり、管底 が最小である。

5-2	セグメントに作用する土・ 水圧および応力の計測 結果、大田拡他、トンネ ル工学研究論文・報告	N=3~6の 洪積粘土 (qu=2.0- 2.5 kgf/cm2)	泥土加圧 式	RC 8150	22.5	9	4?	裏込め注入により3-4kgf/cm2の土圧発 生、1日後で左側部を除き、管頂と管底で 2kgf/cm2、管側で2.2kgf/cm2となる。3年後 には管頂で3.2kgf/cm2、管側で 3.1kgf/cm2、管底で2.8kgf/cm2となる。水圧 は初期1ヶ月で緩やかに増大した後、一定 となり、管頂で1.5kgf/cm2、管側で 1.7kgf/cm2、管底で1.8kgf/cm2となる。よっ てp'は管頂で1.7kgf/cm2、管側で 1.4kgf/cm2、管底で1.0kgf/cm2となり、管底 が最小である。左側部の土圧大は即時注 入を最初に行ったことにより生じ、長期的に 残存。上部土圧は全土被り圧相当。
5-3	集、第7巻、pp.405-410、 1997 (沖積 6-1~6-4)	50≦Nの 大阪層群 砂質土	土圧式	RC 5300	16.8	8	4?	 #1断面:通常圧注入3 kgf/cm2。土圧は注入直後1-1.5kgf/cm2、後続リングの裏込め注入により2.0 kgf/cm2まで上昇。20日後、管頂1.6kgf/cm2、管側2.1kgf/cm2、管底2.2kgf/cm2まで上昇。この間、水圧計測無し。 #2断面:低圧力注入1.7 kgf/cm2。土圧は注入直後0.8~1.1kgf/cm2、後続リングの裏込め注入による増加はわずか。20日後1.0~1.3kgf/cm2まで上昇。水圧は深さに比例して0.8~1.3kgf/cm2まで上昇。水圧は深さに比例して0.8~1.3kgf/cm2までとなり、ほとんど生じていない。Mは設計よりもかなり小さい。
6	シールド洞道に働く荷重 計測結果とその分析に ついて、有泉毅他、トン ネル工学研究論文・報告 書、第8巻、pp.367-372、 1998	東京大田 区N=6-8 の洪積シル ト(地盤 データあ り)	泥水式	RC 平板型 4950	12.9	5(パッ 11.4 ド式)	5	長期土圧は1ヶ月までは全体に減少し、以 降は底部土圧のみ減少し、他は一定であ る。有効土圧はゼロに近く、土圧計測値と 分布形はほぼ水圧のそれらと一致してい る。
7	シールド洞道に働く荷重 計測結果とその分析(そ の2)、有泉毅他、トンネ ルエ学研究論文・報告 集、第9巻、pp.277-282、 1999	洪積シル トと細砂 の互層	泥土圧	RC 平板型 4100	13.3	0.8 ^{5(パッ} いる ド式)	5	沖積論文7-1.7-2(洪積6)に1現場を追加。 前2ケースの内空変位は、沖積は縦長、洪 積は縦横とも収縮で、施工時荷重によって 規定され、長期でも形状を維持。 洪積互層の8ヶ月後の全土圧は0.18~ 0.3kgf/cm2で、設計土圧の10%程度とごく小 さかった。変形は縦横とも細かな伸縮を繰 り返すが、これは泥土圧式シールドによる 施工と地盤が互層であることによるとしてい る。
8	首都圏外郭放水路の立 坑とシールドレンネルへ の作用土圧について、鴨 下由男他、トンネルエマ 研究論文・報告集、第10 巻、pp.269-274、2000	洪積砂質 土、粘性 土、礫質 土の互層		内径 10600	約50	8	4	セグメント組み立て後20リング(4日間)まで の土圧と水圧は、テールブラシからの圧力 (1~2リング)、裏込め注入(3~4リング)によ り大きく変動した後、定常となる。土圧と水 圧の計測データは細かくて読み取れず。
9	半径の異なる三連型 シールドトンネルの計測 結果と考察、大門信之 他、トンネル工学研究論 文・報告集、第10巻、 pp.281-286、2000	上部8割 が洪積粘 土、下部 は砂と礫	泥水三連 型	ダク	約21	4.6 12	8	テール脱出と裏込め注入により土圧は大き く変動するが、裏込め硬化前で1.2~ 3.1kgf/cm2、10m(8リング)掘進して裏込め が硬化した時点で1.2~4.1kgf/cm2だったの で、裏込め圧力は消散するが、裏込めの影 響は残るとしている。さらに長期になった場 合は計測がなく、不明。
10	首都圏外郭放水路シー ルドトンネルの挙動計 測、高橋克彦他、トンネ ルエ学研究論文・報告 集、第11巻、pp.273- 278、2001	洪積砂質 土、粘性 土、礫質 土の互層		内径 10600	約50	8	4	文献8と同じ計測を1年間経過時についてま とめた。組み立て後1週間から変化してい ない。データは読み取れない。

11	洪積地盤における大断 面泥土圧シールドの荷 重評価について、石原陽 介他、土木学会第61回 年次学術講演会、 pp.165-166、2006	上2/3江 戸川層砂 N=12~ 50、下1/3 粘土N=11 ~50	泥土圧	11800	16.6	8.4	4(パッ ド式)	4	・セグメント組み立て後、テールシール通過 と裏込め注入により土圧と軸圧縮力が増加、土圧は裏込め注入により土圧が増減、1日後は裏込めの固化により変動はなくなる。その後1ヶ月の間、裏込めのやせに伴って土圧は次第に減少し、その後130日 まで変動なし。水圧は1ヶ月の間、わずかに変動するが、ほぼ一定で、いずれも地下水 圧と一致。 ・130日後のpは管頂が1.7kgf/cm2、管側が 2.6 kgf/cm2、管底が2.1kgf/cm2、管底が0.2kgf/cm2となり、浮力により管底土圧 ⇒0となったと考えられる。上半分のp'は均 等分布。測定M分布は設計Mと同モード。
	存所业会 たっこ しい	洪積粘土	泥水圧	RC平板 型12830	52.1	44.9			4計測断面とも、施工時荷重として、テール 圧、裏込め注入圧が作用し、土圧は1ヶ月
12	健員地盛中のシールトトンネルの作用荷重に関するー考察、石村利明他、トンネル工学研究論	洪積粘土	泥水圧	RC平板 型6200	34.4	30.3			間係々に低トし、一定となる。水圧は10日 以降一定となり、静水圧分布となる。2.5ヶ 月後の長期安定時には土圧は水圧に近づ き、その差は小さい、したがって、長期安定
	文·報告書、第18巻、 pp.235-242、2008	洪積砂礫	泥水圧	RC平板 型11900	21.8	9.4			時にトンネルに直接作用している荷重は、 自重、水圧、浮カへの反力となっている。 長期安定時の断面力には施工時荷重の影
		洪積砂・ 粘土	泥水圧	RC平板 型11900	51.1	37.1			響が残留する。
13	硬質地盤中のシールドト ンネルに作用する土圧 の計測結果、入江健二 他、土木63回年講、Ⅲ- 401、pp.801-802、2008	洪積硬質 地盤					8	3	短期荷重は他と同様の変化。長期安定時 の土圧はほぼ等分布で、トンネル頂部のp' はゆるみ高1.5Dよりもごく小さい。土圧と水 圧の計測データは細かくて読み取り困難。
14	供用開始後の鉄道用 シールドトンネルにおけ るセグメント測定(2)、清 水満他、第32回地盤工 学研究発表会、 No.1017、pp.2039-2040、 1997	東京礫層 ~粘性土		約12000	19				東北新幹線上野トンネルの施工後15年間 の長期計測結果である。土圧・水圧とも二 次覆工施工までの2年間はほぼ一定で、そ の後は増加している。データ判読やや困 難。
15	MFシールドセグメントの 長期現場計測、加藤精 亮他、土木学会第56回 年次学術講演会、 VI- 049、pp.230-231、2001	東京駅付 近の洪積 層							複円径断面のMFシールドセグメントに働く 土圧・水圧の11.5年間の計測結果である。 地下水のくみ上げによる水位低下と復水に 伴う水位上昇により土圧と水圧が大きく変 動している。最終測定のp ¹ は極めて小さ かった。
		洪積層	三連型泥 水圧	15600x98 00	21	4.6	12		慣用設計法の基本的な問題点を指摘し、 施工過程を考慮した覆工設計荷重の設定 方法と覆工応力の合理的な算定方法を提 案した。三連型シールドトンネル覆工に作 用する施工過程の土圧、M、N、中柱軸力 の測定結果に基づいて覆工の土圧・変形 挙動の変化機構を推定し、覆工を梁部材、
16	施工過程を考慮したシー ルドトンネル覆工の応力 計算法、矢萩秀一他、土 木学会論文集F、Vol.65、 No.2、pp.128-147、2009	東京層砂 質土N≒ 50、天端 に粘性土 N≒8	泥水圧	9800	19	砂質土の 水圧 10kN/m2			周辺地盤を二次元要素としたFEMにより、 掘削前、テールボイド発生時、裏込め圧 力、裏込め固化に伴う圧力消散、変形防止 工撤去に伴う反力、完成後長期における地 表面載荷重・地下水位変動と圧密荷重を 考慮した覆工の応力計算法を提案した。圧 密を考えない場合の断面力予測とは洪積
		沖積層下 部有楽粘 土N=0~4		RC平板 9400	14	12(0.7の 水圧勾 配)			地盤の2現場の断面力の計測結果と比較し て良好な近似を得た。また、圧密を考える 場合、テールボイド発生による地盤応力の 変化によって周辺地盤が圧密すると考えた 場合のMは1現場の実測値と良く近似した。 いずれも、土圧測定結果との直接の比較 がないので、提案設計法が妥当かどうかは 不明で、慣用設計法と同レベルか、想像の 産物の可能性もある。

17	シールドトンネルの施工 時荷重の影響に関する 一考察、石原利明他、ト ンネル工学研究論文・報 告集、第21巻、pp.379- 386、2011	洪積砂質 土・砂礫 土	泥水圧	RC平板 13000	21.8	9.4		大深度地下の良好地盤に作用する荷重は 水圧が主で、土圧は非常に小さいことが明 らかになってきていると記述。そのため、薄 肉構造とした場合には施工時荷重による欠 けやひび割れが発生する可能性が高くなる と記述。施工時荷重の実態を2本のシール ドで把握。断面力のみのデータ。両現場の 断面力は、リング継手構造(ボルト締結式と
		洪積砂質 土・粘性 土	泥水圧	RCとダク の合成 11800	51.35	38.42		(契3)の違いにより大きく異なったか、これ は組み立て直後の継手の剛性がボルト締 結式く楔式であることが原因としている。ま た、多リング梁ばねモデルによる施工時荷 重の評価において、形状保持装置等による 内部荷重の影響を考慮すれば、実測に近 い予測が得られるとしている。土圧につい ては言及がない。
18	中位の粘性土下におけ るシールドトンネルに作 用する土圧の設定と評 価、山根謙二他、トンネ ル工学研究論文・報告 集、第22巻、pp.439- 446、2012	上部2Dの 範囲が硬 質粘土層 N=4(c=70 kN/m2)と 砂層N=25		295			2(パッ ド式、2(管頂 管頂 と管 と管 底) 側)	計測断面2箇所。掘進1日では土圧・裏注 圧とも裏込め注入と連動して変化するが、 注入材が1時間程度で強度を発揮するた め、土圧は注入圧よりも小となる。土圧は 1ヵ月間徐々に減少し、その後一定となる。 管頂土圧は設計ゆるみ土圧の10~20%とご く小さく、鉄筋ひずみ計測値も設計値よりも 極めて小さかった。計器数が少なく、結果 の考察もいまいち。

付録 3

学会投稿論文集

弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判的考察

大阪市立大学客員教授·Buried Pipe Research Center 東田 淳

まえがき FRPM 管を除く下水道用円形管の改訂耐震設計指針¹⁾²⁾(以下、改訂指針と呼ぶ)では、応答変位法³⁾ によって管の断面方向の耐震性を照査するが、その際に必要な地盤ばね定数は連続体モデルの弾性解によって 決定することになった。本報告では、著者が導いた管面滑動条件の地震時連続体モデルの解を用いて、改訂指 針が依拠する応答変位法に対して批判的考察を加えた。

連続体モデルから求められるばね定数

地震時連続体モデルには、管の有無と 無限遠の境界条件の違いの組み合わせに よって図-1(円孔が楕円状に変形する場 合)と図-2(円管が楕円状に変形する場合) に示す Model ①~Model ④の4通りがあ る。各図の枠内に、円孔面あるいは管面 位置のr=aにおける垂直応力 σ_r と法線方 向変位 u_r 、ならびに法線方向ばね定数に 相当する σ_r と u_r の比: $k=\sigma_r/u_r$ を示した。 いずれも空洞面または管面の境界条件は せん断応力が働かない滑動条件である。

改訂指針では、ばね定数の算定式とし て図-1のModel ②に対してMuir⁵⁾が求め た k_{\odot} を採用している。一方、筆者は図-2 に示したModel ③の解⁶⁾⁷⁾を求め、この解 によって算定した垂直土圧 σ_r 、および管壁 の曲げひずみの分布が遠心実験の測定結 果と良好に近似することを確認した⁷⁾⁸⁾。 よって埋設管の土圧変形挙動を調べる際 には、ばね定数を介さずに東田による解 を直接用いれば良いが、改訂指針のばね 定数 k_{\odot} と対比するためにばね定数 k_{\odot} を求 めると、 $k_{\odot} = \sigma_{r_{\odot}}/u_{r_{\odot}} = 9EI/a^4$ が得られた。

 $k_{2} \geq k_{3}$ の関係を以下に示す。Model ② によって円孔変位 $u_{r2} \geq k_{0}$ 、Model ③によっ て管変位 $u_{rp3} \geq x$ め、両者の差 $(u_{r2} - u_{rp3})$ に $k_{2} \geq \pi$ じて管に働く σ_{rp3} が生じると仮 定すると、 $\sigma_{rp3} = k_{2}(u_{r2} - u_{rp3})$ が得られ、 この式に東田による解: $\sigma_{rp3} = k_{3}u_{rp3} \geq \kappa$ 代 入して $\xi * = k_{2} / k_{3} = a^{4}k_{2} / (9EI)$ とおけば、 $u_{rp3} = \xi * / (1 + \xi *) \cdot u_{r2}$ が得られる。



図−1 円孔が楕円状に変形する場合の弾性解とばね定数



キーワード:円形埋設管、耐震設計法、設計指針、応答変位法、連続体モデル,ばね定数

連絡先: 橿原市鳥屋町 24-7 エスペランサ森川 II202 号, Buried Pipe Research Center, E-mail: tohdaj@yahoo.co.jp

付録 3-2

ー方、改訂指針がばね定数決定の根拠とした文献⁹には、円孔の法線方向変位 w_r 、トンネル覆工の変位 u_r 、 および ξ として、式(4.4-1): $k_r = 6G / \{(5-6\nu)r_0\}$ 、式(4.4-2): $w_r = 2\gamma r_0(1-\nu) \sin 2\theta$ 、式(4.4-3): $u_r = \xi / (1+\xi) \cdot w_r$ 、 式(4.4-4): $\xi = r_0^4 k_r / 9EI$ がそれぞれ示されている。ここに、 r_0 は円孔の半径(図-1 と図-2 の aに相当)、 γ は管の 無い自然地盤のせん断ひずみ(Model ①と③で無限遠に与えた境界応力 $\tau = \sigma_0$ によって管の無い自然地盤に生 じるせん断ひずみで、 $\gamma = \tau / \mu = \sigma_0 / \mu$)、 k_r は地盤のばね定数($G = \mu$ なので $k_r = k_{\odot}$)である。さらに、式(4.4-2)の 角度 θ の取り方を図-1 と図-2 に一致させると、式(4.4-2)の $\sin 2\theta$ は $\cos 2\theta$ となり、また γ は Model ①の管面の u_{rD} に含まれる σ_0 / μ に相当するので、結局、式(4.4-2)の w_r は Model ①の円孔面における u_{rD} と一致する。

ここで、Model ②の円孔の変位が Model ①の円孔の変位に等しいと仮定して $u_{r_{0}}=u_{r_{0}}$ と置くと、 $k_{r}=k_{2}$ なので、文献 ⁹⁾の式(4.4-3)の u_{r} と式(4.4-4)の ξ は、それぞれ $u_{r_{0}}$ と ξ *に一致する。すなわち、文献 ⁹⁾の式(4.4-1) ~式(4.4-4)が成立するためには $u_{r_{0}}=u_{r_{0}}$ の条件が必要であり、この条件の成立を前提として式: $\sigma_{r_{0}}=k_{2}(u_{r_{0}}-u_{r_{0}})$ を正解である $\sigma_{r_{0}}=k_{3}u_{r_{0}}$ の代わりに用いることができる。

<u>設計ばね定数の誘導</u>管に働く垂直応力 σ_{rp3} が $\sigma_{rp3} = k_{@}(u_{r2} - u_{rp3})$ で算定されると仮定する。前述のように、 文献⁹に示された式(4.4-1)~式(4.4-4)は、 $u_{r0} = u_{r2}$ の条件において成立する。 u_{r0} は、図-1に示した Model ①の 解なので、これをそのまま u_{r2} として用いれば良い。ところが、改訂指針が依拠する応答変位法³⁾では、 u_{r0} を 用いず、円孔の変位 u_{r2} を、「管の無い自然地盤がせん断される時に仮想円孔位置に生じる法線方向変位 δ_{Gr} 」 と「管の無い自然地盤がせん断される時に仮想円孔位置に生じるせん断土圧による法線方向変位 Δ 」の和とし て得られると仮定して、 $u_{r2} = \delta_{Gr} + \Delta$ とおく。 $u_{r2} = \delta_{Gr} + \Delta$ を $\sigma_{rp3} = k_{@}(u_{r2} - u_{rp3})$ に代入し、 u_{rp3} を δ_{pr} 、 σ_{rp3} を σ_{r} 、 $k_{@}$ を k_{r} とそれぞれ置き、かつ $k_{@}\Delta$ が管の無い自然地盤のせん断土圧の法線方向成分 σ_{Gr} に等しいと仮定す ると、 $\sigma_{rp3} = k_{@}(u_{r2} - u_{rp3})$ は、 $\sigma_{r} = k_{@}\{(\delta_{Gr} + \Delta) - \delta_{pr}\} = k_{@}(\delta_{Gr} - \delta_{pr}) + k_{@}\Delta = k_{r}(\delta_{Gr} - \delta_{pr}) + \sigma_{Gr}$ と変形できる。

この式の誘導過程では以下の2点が問題である。(1) $\sigma_{rp3} = k_2(u_{r2} - u_{rp3})$ は、 $u_{r0} = u_{r2}$ が成立する場合に正解 $\sigma_{rp3} = k_3 u_{rp3}$ と一致するが、 $u_{r2} = \delta_{Gr} + \Delta$ は、円孔が存在する Model ①ではなくて、円孔が存在しない自然 地盤の変位を用いて求められているので、円孔の変位 u_{r0} とは一致しない。(2) $k_2 \Delta = \sigma_{Gr}$ が成立するかどうか 不明である。よって、設計 σ_r の妥当性については別途検討が必要である。

<u>設計 σ_r の妥当性の検証</u> 設計 σ_r の妥当性を検証するため、設計 σ_r と正解である Model ③の σ_{rp3} の比較を、管 の剛性 EI が 0 (ケース 1) と ∞ (ケース 2)の 2 通りの条件で行った。ケース 1 は管の剛性が無く、円孔が地盤 中に存在する場合(≒極たわみ性管の場合)、ケース 2 は管の剛性が RC 管に近い場合(≒剛性管の場合)をそれ ぞれ想定した。設計土圧 $\sigma_r = k_r(\delta_{Gr} - \delta_{pr}) + \sigma_{Gr}$ に含まれる $\delta_{Gr} \ge \sigma_{Gr}$ (空洞の無い自然地盤の無限遠境界に境界応力 $\tau = \sigma_0$ が働く場合に仮想管面位置 r = a に生じる法線方向の変位と応力)は、図-1 と同じ座標を用いて、 $\delta_{Gr} = \sigma_0 a/(2\mu) \cdot \cos 2\theta$ 、 $\sigma_{Gr} = \sigma_0 \cos 2\theta \ge \pi$ められる。また、 $k_r = k_2 = 6\mu/\{(5-6\nu)a\}$ 、 $\delta_{pr} = u_{p3}$ である。

ケース 1(*EI*=0)の場合、Model ③による正解は、 $\sigma_{rp3}=0$ 、 $u_{rp3}=2a(1-v)/\mu \cdot \sigma_0 \cos 2\theta$ となる。一方、設計土圧は $\sigma_r=(-4+6v)/(5-6v) \cdot \sigma_0 \cos 2\theta \neq 0$ となった。よって、 $\sigma_r \neq \sigma_{rp3}$ であり、かつ円孔面に σ_r が働くことになるため、あり得ない解である。つぎに、ケース 2(*EI*=∞)の場合、Model ③による正解は $\sigma_{rp3}=12(1-v)/(5-6v) \cdot \sigma_0 \cos 2\theta$ 、 $u_{rp3}=0$ となる。一方、設計土圧は $\sigma_r=(8-6v)/(5-6v) \cdot \sigma_0 \cos 2\theta$ となったので、やはり $\sigma_r \neq \sigma_{rp3}$ である。 σ_{rp3}/σ_r の値は、vが 0.2~0.5 の場合、1.41~1.20となる。

以上に示した円形管の設計土圧 σ_r と正解である Model ③の σ_{rp3} の不一致は、 $u_{r2} = \delta_{Gr} + \Delta \geq k_2 \Delta = \sigma_{Gr}$ の仮定の不成立を示している。したがって改訂指針が依拠する応答変位法には再考の余地があると結論される。

付録 3-3

<u>参考文献</u>1) 日本下水道協会(2014): 下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版. 2) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計 算例(管路施設編) 2015 年版. 3) 川島一彦(1994): 地下構造物の耐震設計, 鹿島出版会. 4) Timoshenko, S.P. and Goodier, J.N. (1951): Theory of Elasticity, Third Ed., McGraw-Hill Book Co.. 5) Muir Wood, A.M. (1975): The Circular Tunnel in Elastic Ground, *Geotechnique*, Vol.25, No.1, pp.115-127. 6) 東田淳・三笠正人(1986): 弾性論による埋設管の土圧の検討, 土木学会論文集, 第 376 号/Ⅲ-6, pp.181-190. 7) Tohda, J., Yoshimura, H., and Maruyoshi, K. (2013): An elastic continuum model for interpretation of seismic behavior of buried pipes as a soil-structure interaction, *Proc. of the 18th ICSMGE*, 1777-1780. 8) 丸吉他(2013): 円形管の地盤せん断遠心実験に対 する弾性FEM解析と弾性理論解析, pp.1467-1468, 第48回地盤工学研究発表会. 9) 土木学会地震工学委員会(1998): トンネル耐震 設計の方向と基本課題, トンネル耐震性研究小委員会報告.

円形管の耐震設計法(断面方向)の開発

中央復建コンサルタンツ 井上裕司・アサノ大成基礎エンジニアリング 島津多賀夫 阿南工業高等専門学校 吉村 洋・大阪市立大学客員教授 東田 淳

<u>まえがき</u> 筆者らは、埋設管の地震時挙動(土圧と曲げひずみ)を、遠心場で地盤を単純せん断する静的遠心実験で調べ、弾性 FEM の解析結果が測定結果と良好に近似することを確かめた¹⁾。本報告では、この FEM 解析 手法を実際の下水道管きょの耐震設計に適用するために施した改良点と採用した地盤条件について説明する。 <u>解析手法の単純化</u> これまでの研究²⁾に基づいて、FEM 解析に対して、管面の境界条件を完全滑動とする単純化を施し、その妥当性を計算例によって再確認した。

<u>解析モデルの寸法と境界条件</u> 米川・吉村³によれば、遠心実験の解析に用いた FE モデルで地盤幅を増大さ せると管に生じる曲げひずみが減少することが分かった。そこで、モデル幅 *B* とモデルの全高 H_{Σ} を変えて *B*/ H_{Σ} =1.0 と 5.5 とした 2 ケースについて、遠心加速度 30 g と地盤両端にせん断変形(単純せん断と一次モードの cosine カーブの両者)を与えた解析を行って、地盤中央の水平変位に及ぼす境界条件(**表**-1)の影響を調べた。 **表**-1 において、水平変位の〇は、遠心実験で与えた γ =3.2 %相当の単純せん断あるいは cosine カーブの水平 変位を、また鉛直変位の〇はせん断前の K_0 条件において遠心加速度によって生じた地盤の圧縮量(FEM 解析 値)を、それぞれ側方境界または地表面の各節点に与えたことを示す。

単純せん断の場合の地盤の側方境界と中央における水平変位分布を図-1に示す。ケースCとケースDでは、 水平変位分布は B/H_{Σ} が異なってもモデル中央と側方境界で一致し、さらにケースDよりも簡単なケースCの 境界条件は、これまで遠心実験を対象として行った境界条件(表-1のケースA)とは異なるが、ケースCの境 界条件で改めて遠心実験の解析を行ったところ、実験結果とほぼ一致することが確認できた。また、文献 3) の結果はケースAの境界条件によるためであることが分かった。一方、 H_{Σ} =33 cm・ケースCの境界条件で、

cosine カーブの水平変位を与えた場合の図-2の結果によれば、 水平変位分布はモデル中央と側方境界で一致せず、一次モード の変形条件では *B*/*H*₂を小さく選ぶ必要があることが分かった。

遠心実験(R 管、SOL 地盤、 H_{Σ} =33cm)の解析条件(管有り・管面の開口あり)で、ケース C の境界条件で側方境界変位として単純せん断と cosine カーブを与えた時に得られた B/H_{Σ} と管の最

表-1 境界条件の検討ケース

	側方	地表面				
ケース	水平変位	鉛直変位	水平変位	鉛直変位		
Α	0	フリー	フリー	フリー		
В	\bigcirc	\bigcirc	フリー	フリー		
С	\bigcirc	\bigcirc	0	フリー		
D	0	0	0	0		



キーワード:円形埋設管、下水道管きょ、耐震設計法、弾性 FEM、境界条件、地盤幅 連絡先:井上裕司 東京都千代田区麹町 2-10-13 中央復建コンサルタンツ東京本社、E-mail: inoue y@cfk.co.jp

-137-

3-4

大曲げひずみ ε_{max} の関係を図-3に示す。単純せん断の場合、 $B/H_{\Sigma} \ge 1.1$ の範囲では ε_{max} は一定であるが、 $B/H_{\Sigma} < 1.1$ では 側方境界の存在によって ε_{max} が増大している。一方、cosine カーブの場合、 ε_{max} は $B/H_{\Sigma} = 2$ で最小となるが、 $B/H_{\Sigma} = 1.1$ の ε_{max} との差は小さく、 B/H_{Σ} が2から離れるのにつれて大 きくなって単純せん断の ε_{max} に近づいている。以上のよう に、単純せん断で B/H_{Σ} が<1.1 の範囲で側方境界の影響が 現れたこと、および実験模型で $B/H_{\Sigma} = 1.1$ であったことを 考慮して、一次モードで境界変位を与える場合、アスペク ト比として $B/H_{\Sigma} = 1.1$ を採用することに決めた。

<u>地震時増分の計算方法</u> 実際の地震時現象は静的に地盤を せん断した遠心実験とは異なる動的現象であり、地盤の弾 性定数は地震前と地震時でそれぞれ静的、動的と異なる。 よって、常時と地震時増分の計算を別々に行い、両者の和 として地震時とするのが妥当である。



図-4 B/H_{Σ} とR管の地震時増分 $\Delta \varepsilon_{max}$ の関係

自重なし・管面の開口なしの解析条件(条件 I)で得られた ε_{max} (=地震時増分 $\Delta \varepsilon_{max}$)と、図-3の解析条件(条件 II)で得られた $\Delta \varepsilon_{max}$ (=せん断時と常時の ε_{max} の差)を図-4に示す。単純せん断、cosine カーブの場合とも、両手法によって求めた $\Delta \varepsilon_{max}$ の差が小さいことから、地震時増分の計算では、自重なし・管面の開口なしの条件で、側方境界と地表面の鉛直変位をゼロに固定し、地表面と側方境界に強制水平変位を与えることに決めた。 地盤条件 埋設されて長年月を経た既設管きょでは、埋戻し土の応力状態が地山と均一化し、管の設置方式が 新設時の溝型から盛土型に移行しているものとして、埋戻し土と周辺地盤の地盤条件を同一と仮定した。さら に、これまでの研究²¹⁴⁾によって、埋設管きょの挙動は管側深度における地盤内応力、ならびに同位置での地 盤の弾性定数に支配されることが分かっているので、常時の解析の地盤条件を以下のように決めた。①単位 体積重量は、地表面から管側深度までの平均有効重量とした。②地盤の弾性係数は、管側深度の周辺地盤の N値を用いて $E_s=700N$ (kN/m²)とした⁵⁾。③地盤のポアソン比は、 $K_0=0.5$ の時の値をとって $\nu=1/3$ とした。 ④ 基床厚は 30 cm とし、基床底で変位をゼロに拘束した。⑤静水圧を管面に作用する分布荷重として与えた。 つぎに、地震時増分計算における地盤条件は、下水道管きょの改訂設計マニュアル⁶に合わせて、S 波速度か ら決まるせん断弾性係数 G_0 (および動的な弾性係数とポアソン比)を持つ自重なしの一様地盤とした。

解析モデル解析に用いた FE メッシュと解析モデルを、RC 管の場合を例にとって図-5 に示す。なお、別報で、RC 管と FRPM 管の解析結果と現行耐震設計法による予測を比較した⁷⁾⁸⁾ので、参照して頂きたい。

参考文献 1) J.Tohda, H.Yoshimura and K.Maruyoshi (2015): Centrifuge Model Tests and Elastic FE Analysis on Seismic Behavior of Buried Culverts, 15th Asian Regional Conference on SMGE, JPN-106. 2) 島津多賀 夫 (2010): 斜掘り溝型方式で設置される 埋設管の力学挙動と設計法に関する研究, 大阪市大学位請求論文. 3) 米川・吉村 (2015): 埋設管の FEM 解析における地盤 側方境界の位置の影響について, 土木学 会四国支部 21 回技術研究発表会, pp.155-156. 4) 吉村洋 (1998): たわみ性埋 設管の力学挙動と設計法に関する研究, 大阪市大学位請求論文. 5) 地盤工学会 (1995): 地盤調査法, p.254. 6) 日本下水道



協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編), 2015 年版. 7) 島津多賀夫他 (2016): 提案設計法と現行設計法によって予測した RC 管の地震時 挙動の比較 (投稿中). 8) 吉村洋他(2016): 提案設計法と現行設計法によって予測した FRPM 管の地震時挙動の比較 (投稿中).

付録 3-5 -138-

提案設計法と現行設計法によって予測した RC 管の地震時挙動の比較

アサノ大成基礎エンジニアリング 島津多賀夫・大阪市立大学客員教授 東田 淳 阿南工業高等専門学校 吉村 洋・中央復建コンサルタンツ 井上裕司

まえがき 応答変位法に基づく下水道管きょの耐震設計基準¹⁾ に従って計算された RC 管の断面方向の耐震計 算例²⁾と著者らが提案した耐震設計法³⁾による予測(土圧と曲げモーメント)を比べ、現行耐震設計法の問題点を 指摘した。なお、耐震計算例²⁾には地震時に地盤を右側にせん断する場合が例示されているが、本報告では著 者らが実施した遠心実験⁴⁾の整理方法に合わせて地盤を左側にせん断する場合の結果を示した。

<u>提案設計法による計算結果</u> 提案設計法は、別報³⁾に示した弾性 FEM 解析を用いている。表-1 に示した入力 パラメータは、別報³⁾に示した方法で設定した。RC 管の内径は 1000 mm、土被り高は 2 m、管側深度における 周辺地盤は N=5 の砂質土である。地下水位は GL.-3.3 m なので、管に水圧は作用しない。

図-1 に提案設計法によって求めた管面に作用する垂直土圧σと管に生じる曲げモーメント *M* を示す。各図の 点線、破線、実線がそれぞれ常時、レベル2 地震動による地震時増分、両者の和として求めた地震時の結果 である。σは圧縮、*M* は内側引張りの場合を正として表してある。管に働くせん断土圧τは管面で完全滑動条 件を採用したので、どの時点でもゼロである。

図-1から以下が分かる。

・常時では、σは管頂、管底に集中し、M分 布は管が扁平になって楕円状に変形してい ることを示す。

・地震時増分では、 σ 、Mとも分布の対称軸 が 45°程度回転し、 σ は常時 σ に比べて小さ いが、Mは常時よりも大きくなっている。

・地震時では、σと M の対称軸の回転角は
 地震時増分よりも減り、σと M の最大値は
 地震時増分の最大値よりも少し大きい。

なお地震時の σ 分布には第 2、4 象限に引 張りの領域が存在するが、この引張り σ がMに及ぼす影響は 10 %程度であることをフレ ーム計算による no-tension 解析で確かめた。



図-1 提案設計法によって求めた $\sigma \ge M$

現行設計法による計算結果現行設計法では、構造計算(フレーム計算)によって RC 管の断面力を算定することになっている。常時の設計死荷重は、鉛直土圧と鉛直反力土圧として管頂での土被り圧を等分布で与え、水

表-1 提案設計法(FEM)の入力パラメータ

解析時点	地盤の 弾性係数 <i>E</i> s (kN/m ²)	地盤の ポアソ ン比 _{Vs}	地盤の平均 単位体積 重量 ^γ (kN/m ³)	管の 外径 <i>D</i> (m)	管厚 <i>t</i> (m)	管の 弾性 係数 E _p (kN/m ²)	管の ポアソ ン比 <i>V</i> p	管の 曲げ 剛性 S _p ³⁾ (kN/m ²)	管の単 位体積 重量 _{γp} (kN/m ³)	ジョイン ト要素の 垂直剛性 $k_n^{4)}$ (MN/m ²)	ジョイント 要素の せん断剛性 k_s (MN/m ²)
常時 地震時増分	3500 ¹⁾ 24539	0.333 ²⁾ 0.493	17.194 0	1.164	0.082	33000000	0.167	9850	24	100	0
1) $E_{\rm s}$ =700 N ,	2) $K_0 = 0.5$,	3) 管剛	$ \pm S_{\rm p} = [E_{\rm p} \cdot t^3/$	{12(1-	$(v_{\rm p}^{2})\}]/2$	R^3 , $R = (D - $	-t)/2, 4)地震時増	自分の計算`	では管面の	開口なし
キーワード	:RC 管、i	耐震設計	┼法、FEM、	現行診	計基	準、設計と	比較、土	圧、曲げ	モーメン	<u>۲</u>	

連絡先: 島津多賀夫 東京都台東区北上野 2-8-7 アサノ大成基礎設計エンジニアリング E-mail: shimazu@atk-eng.jp

付録 3-6

-139-

平土圧は静止土圧係数 K₀を 0.5 として深さととも に直線的に増える台形荷重として与える。地震時増 分荷重は、地盤の地震時水平変位振幅から求めた管 頂と管底の間の相対変位に地盤のばね定数を乗じ て算出した「相対変位による水平荷重」と地震時に 地盤に生じる「地震時周面せん断力」の和とする。

図-2(a)、(b)、(c)はそれぞれ常時、地震時増分、 地震時の設計*σ*・*τ*と*M*の分布である。各図から以 下のことが分かる。

・常時では、 σ は均等に近い分布で、 τ は σ に比 べてごく小さい。M 分布は管が楕円状に変形して いることを示す。

・地震時増分では、 σ は第 1、3 象限に集中し、 τ は σ と同程度に大きい。Mは対称軸が鉛直軸から 45°度程度回転している。なお、地震時増分は地盤 の相対変位によるものと地盤内応力によるものの 和として求められるが、両者の $\sigma \cdot \tau \ge M$ はほぼ同 じ大きさと分布であった。

・地震時には、 σ は第1、3象限に集中し、第 2、4象限に引張りの領域が残る。 τ は、第2、 4象限で σ よりも大きく、かつ σ が引張りの 領域でもゼロではない点に疑問が残る。Mは 地震時増分とあまり変化が無い。

<u>現行設計法と提案設計法の比較</u>図-2 と図 -1の比較から以下が分かる。

・常時では、提案設計法による σ の方が現行 設計法による σ よりも縦長で、管頂・管底へ の集中度がかなり高い。そのため、提案設計 法による Mは現行設計法による M に比べて 3 倍程度大きくなっている。



図-2 現行設計法によって求めた σ・ r と M

・地震時では、 σ の分布形は提案・現行両設計法でよく似ているが、 σ_{max} は提案設計法のほうが大きく、また τ は提案設計法ではゼロなのに対して現行設計法ではかなり大きい。このように土圧が異なる結果、 M_{max} は現 行設計法が M_{max} =4.72 kNm/m であるのに対して、提案設計法では図-1の引張り領域ありの場合は M_{max} =6.42 kNm/m、フレーム計算によって引張り σ を補正した場合は M_{max} =5.88 kNm/m となり、それぞれ現行設計法の M_{max} の1.36 倍、1.25 倍となり、現行設計法は提案設計法に比べて危険側の設計となっていることが分かった。 このように提案・現行両設計法の土圧 $\sigma \cdot \tau$ と曲げモーメント Mの予測は異なったが、この相違は著者らが これまで指摘してきたように⁴⁾⁵⁾⁶、現行設計法が依拠する応答変位法に問題があるために生じたものである。

参考文献1) 日本下水道協会(2014): 下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版.2) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算 例(管路施設編) 2015 年版.3) 井上他 (2016): 円形管の耐震設計法(断面方向)の開発,71 回土木学会年講(投稿中).4) J.Tohda, H.Yoshimura and K.Maruyoshi (2015): Centrifuge Model Tests and Elastic FE Analysis on Seismic Behavior of Buried Culverts, *15th Asian Regional Conference on SMGE*, JPN-106.5) 東田淳,吉村洋,井上裕司,向市清司(2010): 下水道カルバートの動的挙動(断面方向) に関する遠心実験と解析手法,地盤工学会誌,58-2, pp.18-21.6) 東田淳 (2016): 弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判 的考察,71 回土木学会年講(投稿中).

提案設計法と現行設計法によって予測した FRPM 管の地震時挙動の比較

阿南工業高等専門学校 吉村 洋・アサノ大成基礎エンジニアリング 島津多賀夫 大阪市立大学客員教授 東田 淳・中央復建コンサルタンツ 井上裕司

<u>まえがき</u> 応答変位法に基づく下水道管きょの耐震設計基準¹⁾ に従って計算された FRPM 管の断面方向の耐 震計算例²⁾と著者らが提案した耐震設計法³⁾による予測(荷重と曲げモーメント)を比べ、現行耐震設計法の問 題点を指摘した。なお、耐震計算例²⁾には地震時に地盤を右側にせん断する場合が例示されているが、本報告 では著者らが実施した遠心実験⁴⁾の整理方法に合わせて地盤を左側にせん断する場合の結果を示した。

<u>提案設計法による計算結果</u> 提案設計 法は、別報³⁾に示した弾性 FEM 解析を 用いている。FRPM 管の解析に用いた地 盤、管、および管面に挿入したジョイン ト要素の入力パラメータを表-1 に示す。 管の内径は 1200 mm、土被り高は 5 m、 地下水位は GL.-3.3 m、管側深度にお ける周辺地盤は N=10 の砂質土である。

図-1 に提案設計法によって求めた管 面に作用する垂直荷重と管に生じる曲 げモーメント *M* を示す。各図の点線、 破線、実線がそれぞれ常時、レベル 2 地震動による地震時増分、両者の和とし



図-1 提案設計法によって求めた垂直荷重と曲げモーメント

て求めた地震時の結果である。垂直荷重は圧縮、*M*は内側引張りの 場合を正として表してある。常時の垂直荷重は、図-2に示すように、 有効垂直土圧σと水圧の和として求めた。管に働くせん断土圧τは管 面で完全滑動条件を採用したので、どの時点でもゼロである。

図-1から、常時荷重に比べて地震時増分のがごく小さいので、地 震時荷重は常時荷重とほとんど変わらないことが分かる。また、常 時*M*は、管頂が管底よりも大きく、左右対称であるが、地震時増分 のによる*M*分布の対称軸が時計回りに45[°]程度回転する結果、地震 時*M*の対称軸も25[°]程度回転している。

<u>現行設計法による計算結果</u> 図−3 に現行設計法によって算定した*σ*、



表-1	提案設計法(FEM)の入力パラメータ

解析時点	地盤の 弾性係数 E_s (kN/m^2)	地盤の ポアソ ン比 _{Vs}	地盤の有効 平均単位 体積重量 <i>γ</i> (kN/m ³)	管の 外径 <i>D</i> (m)	管厚 <i>t</i> (m)	管の 弾性 係数 E _p (kN/m ²)	管の ポアソ ン比 <i>V</i> p	管の 曲げ 剛性 S ³⁾ (kN/m ²)	管の単 位体積 重量 ^γ p (kN/m ³)	ジョイン ト要素の 垂直剛性 $k_n^{(4)}$ (MN/m ²)	ジョイント 要素の せん断剛性 k_s (MN/m ²)
常時 地震時増分	7000 ¹⁾ 24539	0.333 ²⁾ 0.493	13.032 0	1.248	0.024	14700000	0.3	81.2	23.4	100	0
				2	2	2					

1) $E_s = 700N, 2$) $K_0 = 0.5, 3$) 管剛性 $S_p = [E_p \cdot t^3 / \{12(1-\nu_p^2)\}]/R^3$, R = (D-t)/2, 4) 地震時増分の計算では管面の開口なし

キーワード: FRPM 管、耐震設計法、FEM、現行設計基準、設計比較、荷重、曲げモーメント

連絡先: 吉村 洋 徳島県阿南市見能林町青木 265 阿南高専創造技術工学科 E-mail: yos@anan-nct.ac.jp

 τ 、*M*を示す。 τ は反時計回りの場 合を正として表した。常時の σ と τ は、図-4に示した鉛直・水平 土圧($p_v \cdot p_h$)を図中の換算式に代 入して求めた。また、地震時増分 の σ と τ は、文献 5)に示された断 面力 Q と N の近似式を、釣合い 式: $\sigma = (dQ/d\theta + N)/R, \tau = (dN/d\theta - Q)/R$ に代入して求めた。

図-3から以下が分かる。

・常時では、 σ は、従来、たわみ性管で確認さ れてきた均等分布⁴⁾とは異なる。 τ は σ に比べ て小さいが、遠心実験⁴⁾で確認されたτ≒0よ りかなり大きい。Mは管頂と管底で差がない。 ・地震時増分では、 $\tau \gg \sigma$ の範囲が広く存在 し、σは第2、4象限が圧縮、第1、3象限で 引張りである。Mは、 τ と σ に よって生じる M が逆モードとな って相殺するため、かなり小さい。 ・地震時では、 σ の引張り領域は 無いが、 τ は σ を超える程度にか 50 なり大きい部分が管頂と管底付 100 近、および第1、3象限に残る。 Mは常時とあまり変わらない。

現行設計法と提案設計法の比較

図-3 と図-1の比較から以下が分かる。

どの時点でも現行設計法と提案設計法の荷 重は全く異なり、特にての相違が際立ってい

る。そのため、常時と地震時のMも両設計法の定量的な差は大きい。地震時の M_{max} を例にとると、現行設計法の M_{max} =4.09 kNm/m に対して、提案設計法では M_{max} =0.88 kNm/m となり、現行設計法は提案設計法に対して M_{max} を5倍程度、過大評価している。

このように提案・現行両設計法の予測は定量的、定性的に異な り、両者の相違は別報⁶⁰の RC 管の場合にも見られた。現行設計 法によって予測される管きょの土圧・変形挙動は著者らが実施し た遠心実験の測定・解析の結果⁴⁰とはかなり異なっているので、



図-3 現行設計法によって求めた土圧と曲げモーメント



現行耐震設計法が依拠する応答変位法には、文献7)でも指摘したように問題があることは明らかである。

参考文献 1) 日本下水道協会(2014): 下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版. 2) 日本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計 算例(管路施設編) 2015 年版. 3) 井上他 (2016): 円形管の耐震設計法(断面方向)の開発, 71 回土木学会年講 (投稿中). 4) J.Tohda, H.Yoshimura and K.Maruyoshi (2015): Centrifuge Model Tests and Elastic FE Analysis on Seismic Behavior of Buried Culverts, *15th Asian Regional Conference on SMGE*, JPN-106. 5) 建設省土木研究所 (1992): 大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案), 土木研 究所資料第 3119 号. 6) 島津多賀夫他 (2016):提案設計法と現行設計法によって予測した RC 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学 会年講 (投稿中). 7) 東田淳 (2016): 弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判的考察, 71 回土木学会年講 (投稿中).

付録 3-9 -142-

現場打ちボックスカルバートの耐震設計法(断面方向)の提案

ボックスカルバート 耐震設計法 土圧

アサノ大成基礎エンジニアリング 島津多賀夫 大阪市立大学客員教授・Buried Pipe Research Center 東田 淳 阿南工業高等専門学校 吉村 洋・中央復建コンサルタンツ 井上裕司

<u>まえがき</u>下水道管きょの現行耐震設計基準¹¹²(以下、現行設計法と呼ぶ)は、材質・形状・規模・施工法が異なる11種類に及ぶ下水道管きょを広く扱っている点に他の地中構造物の耐震設計基準に無い特徴があるが、管きょの地震時挙動予測に問題のある応答変位法を用いているため、土と構造物の相互作用の実態を正しく反映できない。そこで著者らは、弾性FEM解析に基づく埋設管きょの耐震設計法(断面方向)を提案し^{3)~6)}、これまで下水道用RC管とFRPM管について現行・提案両設計法による地震時挙動(土圧と断面力)を比較し、提案設計法が遠心実験で確認された管きょの挙動を矛盾なく再現するのに対して、現行設計法は管面に働くせん断土圧を垂直土圧と同等の大きさと見積もるなど、実態と矛盾する挙動を予測し、提案設計法に比べてRC管では少し危険側、FRPM管では極めて安全側の設計となっていることを示した。

本報および別報^つでは、前 報⁵⁾⁶⁾で扱った円形管とは形 状の異なる矩形の現場打ち ボックスカルバート(以下、 矩形きょと呼ぶ)の設計事例 に提案設計法を適用して常 時、地震時の土圧と断面力を 求め、現行設計法の予測と比 べた。本報では、提案設計法 を矩形きょに適用する際に 課題となった常時の地盤条 件と基礎厚の選定方法、およ び地震時の引張り土圧の解 消方法を説明し、現行設計法 との比較は別報^つで示す。

<u>解析モデル</u>図-1、表-1にFEM解析モデルと入力パラメータを示す。矩形きょと地盤は線形弾性体と仮定した。解析モデルの 全高 H_{Σ} =24.7 mは耐震計算例²⁾に合わせ、地盤幅B=27.2 mは前報の検討結果⁴⁾で得られた B/H_{Σ} =1.1になるように定めた。矩形きょの躯体要素(2層×72分割)と土要素の間にはジョイント要素⁸⁾を挿入し、躯体表面における滑動と開口を許容した。

常時の解析では、図-1(a)と図-2に示すように基 床厚 H_b を前報⁵⁾⁶⁾に合わせて 30 cm とし、基床底で 変位を拘束し、地盤側方で K_0 条件を与えた。地震 時増分の解析では、重力加速度ゼロ・躯体表面の開 口なしの条件で、側方境界の鉛直変位をゼロに固定 し、地表面と側方境界に耐震計算例で規定された一 次モードの強制水平変位量を与えた。また、躯体中 央深さ 3.45 m におけるレベル 2 地震動の設計水平 加速度 0.6 g (g: 重力加速度)を躯体の各要素に与え て、躯体に働く水平慣性力を考慮した。 地盤条件 現行設計法では2通りの地盤タイプを扱

<u>地盤条件</u>現行設計法では2通りの地盤タイプを扱っているが、今回は耐震計算例²⁾の設計事例に合わ せてタイプ I 地盤を採用した。



図-1 現場打ちボックスカルバート(矩形きょ)の解析モデル($B=27.2 \text{ m}, H_{\Sigma}=24.7 \text{ m}$)

表-1 提案設計法(FEM)の入力パラメータ

地盤(地震	時増分)1)	力,	ルバート	ジョイント要素		
$E_{\rm D}$ (kN/m ²)	v _D	$\frac{E_{\rm p}}{(\rm kN/m^2)}$	V _p	$\gamma^{2)}$ (kN/m ³)	$\frac{k_n^{3)}}{(\text{GN/m}^3)}$	$k_{\rm s}$ (GN/m ³)
24539	0.493	25000000	0.167	24.5	9.81	0

1) 動的弾性定数, 2) 地震時増分では慣性力を除きゼロ, 3) 地震時増分の開口部ゼロ



Proposition of new seismic design method on buried box culverts: T.Shimazu (Asano Taisei Kiso Engineering), J.Tohda (Osaka City University), H.Yoshimura (National Institute of Technology, Anan College) and Y.Inoue (Chuou Fukken Consultants).

前報^{5/6)}の RC 管と FRPM 管の提案設計法では、常時の地盤条件として、①単 位体積重量は地表面~管側深度までの平均有効重量、②地盤の弾性係数は管側深 度の周辺地盤の N 値を用いて E_s =700N (kN/m²)、③基床厚 H_b を 30 cm とし、基 床底で変位をゼロに拘束、④静水圧は管面に作用する分布荷重、を与えたが、今 回の矩形きょの埋設条件は、図-2 に示すように、地下水位が矩形きょの中央深 度近くにあり、かつ4層の地盤が絡んで前報のケースよりも複雑である。そこで、 前報の①と②の単純化は採用せず、図-2 に示すように層ごとに単位体積重量 $\gamma \cdot \gamma'$ と E_s =700N (kN/m²)を与えた。 H_b と静水圧の与え方は前報と同じとした。 H_b の違いと静水圧の有無による常時の解析結果の変化については後述する。

つぎに、地震時増分計算における地盤条件は、前報と同じく、現行設計法に合わせて、S波速度から決まるせん断弾性係数 $G_0(および表-1)$ に示す動的な弾性係数 E_p とポアソン比 v_b)を持つ自重なしの一様地盤とした。

<u>基床厚 H_bの違いと水圧による常時外力の変化</u>図-3 は、FEM 解析によって求めた基床厚 H_bの違いによる常時垂直外力(垂直土圧と水圧の和)の変化を示している。黒実線、緑破線、赤破線がそれぞれ H_bを 30 cm、97.5 cm、175 cm に変化させた時の垂直外力で、青実線が水圧である。 H_b が大きくなるにつれて、垂直外力は側板下端と底版両端付近で増えるが、この部分を除くと H_b による変化はほとんど見られない。

図-3 で見られた底版の等分布に近い垂直荷重分布は、乾燥砂または湿潤砂中 に H_b を原型寸法で30~540 cmの範囲に変えて埋設した高さと幅が原型で270 cm の矩形きょの遠心実験で得られた底版の両端に集中する凹型の土圧分布⁹⁾¹⁰⁾とは 異なっている。この差異の理由を確認するため、 $H_b=175$ cm の FEM 解析で、地 下水圧を無視し、第3層の粘性土と第4層の砂質土の γ_{sat} を耐震計算例に合わせ てそれぞれ17 kN/m³、18 kN/m³とした場合の垂直土圧の分布を求めた。結果を 図-4 に示す。図-3の水圧あり・ $H_b=175$ cm の場合と比べて、底版の土圧は両端 への集中がかなり顕著である。よって、図-3 で H_b に拘わらず底版の垂直外力分 布が等分布に近かったのは、水圧による浮力の影響によるものと判断できた。

<u>地震時の躯体表面の開口の処理方法</u>提案設計法では、常時と地震時増分の土圧 の和を地震時土圧とするが、剛性の高い RC 管や今回の矩形きょでは、地震時垂 直土圧σが引張りとなる領域が発生する。実際にはそこで土と躯体は開口し、躯 体に働く引張りσは消滅する。そこで、地震時増分の解析において、以下の2通 りの方法で地震時引張りσを解消させる繰り返し計算を行った。

- ・方法#1: 地震時に生じた引張りσを、躯体要素と土要素の間に挿入したジョ イント要素の土側節点に圧縮σとして作用。
- ・方法#2: 地震時に引張り領域となったジョイント要素の垂直剛性 kn をゼロ にして引張りσをゼロとし、そのジョイント要素の土側と躯体側の 節点に常時σ相当節点力をそれぞれ土・躯体を引っ張る方向に作用 (図-5 参照)。

以上の2通りの方法をRC管に適用した結果、方法#2のM_{max}は方法#1のM_{max}よりも大きく、かつ開口を許容しない場合のM_{max}とほぼ同じになったので、今回の矩形きょでは方法#2によって地震時の開口を許容することにした。なお、この開口の許容の有無による矩形きょの荷重分布の変化を別報^つで示したので参照されたい。

参考文献 1) 日本下水道協会(2014): 下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版. 2) 日本下水 道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編) 2015 年版. 3) 東田淳 (2016): 弾性論に基づ く円形管の応答変位法に対する批判的考察, 71 回土木学会年講, Ⅲ-068, pp.135-136. 4) 井上他 (2016): 円形管の耐震設計法(断面方向)の開発, 71 回土木学会年講, Ⅲ-069, pp.137-138. 5) 島津 他 (2016): 提案設計法と現行設計法によって予測した RC 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学 会年講, Ⅲ-070, pp.139-140. 6) 吉村他(2016): 提案設計法と現行設計法によって予測した FRPM 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学会年講, Ⅲ-071, pp.141-142. 7) 東田他 (2017): 現場打ちボ ックスカルバートの地震時挙動の予測(提案設計法と現行設計法の比較), 52 回地盤工学研究発 表会 (投稿中). 8) H.D.Sharma etc (1976): Generalization of sequential analysis, IInd ASCE Int. Conf. of Numerical Methods in Geomechanics. 9) J.Tohda etc. (2010): Centrifuge Model Tests on Dynamic Response of Sewer Trunk Culverts, ICPMG 2010, pp.651-656. 10) 大杉他 (2010): 下水道幹線カル バートの土圧と変形挙動に関する静的遠心実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.3, pp.479-497.



図-3H_bの違いによる常時外力の変化



図-4 水圧を無視した場合の常時土圧 (H_b=175 cm)



(方法#2)

第52回地盤工学会 2017 投稿中

現場打ちボックスカルバートの地震挙動の予測(提案設計法と現行設計法の比較)

大阪市立大学客員教授・Buried Pipe Research Center 東田 淳 アサノ大成基礎エンジニアリング 島津多賀夫 阿南工業高等専門学校 吉村 洋・中央復建コンサルタンツ 井上裕司

まえがき 著者らは弾性 FEM を用いた埋設管きょの耐震設計法(断面方向)を提案している^{1)~5)}。本報告では、提案設計 法によって算定した現場打ちボックスカルバート(以下、矩形きょと呼ぶ)のレベル2地震動における土圧・断面力を、応 答変位法に基づく下水道管きょの現行設計法⁶⁷⁷による予測と比べ、現行設計法の問題点を指摘した。なお耐震計算例⁷⁹

には地震時に地盤を右 側にせん断する場合が 示されているが、本報告 では著者らが実施した 遠心実験⁸⁾の整理方法 に合わせて地盤を左側 にせん断する場合の結 果を示す。

ボックスカルバート 耐震設計法 土圧

提案設計法による予測

図-1 は提案設計法⁵⁾ によって求めた地震時 に躯体と地盤の間の開 口が無い場合の垂直荷 重(垂直土圧と水圧の和) の分布を、圧縮を正とし て表している。図の点線、 破線、実線がそれぞれ常 時、レベル2地震動によ



図-1 提案設計法によって求めた垂直荷 重分布 (地震時に躯体表面の開口 無し)

る地震時増分、両者の和として求めた地震時を表す。せん断土圧は、実験 事実に基づいて管面で滑動条件を採用したので、どの時点でもゼロである。

常時の垂直荷重は、頂版では凹型分布、側板では三角形分布、底版では ほぼ等分布である。地震時増分の垂直荷重は、地盤境界に与えた一次モー ドの地盤変形と躯体に作用する水平慣性力により生じ、右上と左下の隅角 部に集中し、右下と左上の隅角部では引張りとなる。常時荷重と地震時増 分荷重の和として求まる地震時荷重でも、左側壁上部と右下隅角部付近に 引張り荷重が残る。

図-2は、提案設計法によって求めた地震時開口ありの場合の垂直荷重、 曲げモーメントM、および軸力Nの分布である。Mは内側引張り、Nは圧 縮をそれぞれ正として表した。なお、隅角部近傍では躯体要素のひずみ分 布が平面保持の仮定を満足せず、MとNの分布が乱れたため、隅角部のご く近傍(2.5 要素の範囲)で、Mを二次曲線、Nを直線で置き換え、上部では ハンチ始点まで、下部では部材端まで延長したラインを示してある。

図-2から以下のことがわかる。地震時荷重は、図-1で見られた左側壁上 部と右下隅角部付近の引張り荷重が躯体と地盤の開口によって消滅してい る。M図から、地震時には垂直荷重が右上と左下の隅角部に集中するため、 矩形きょが左方向に傾いた平行四辺形に近い形に変形することが分かる。 また頂版と底版の地震時増分 N が左側ほど大きくなっているのは、躯体に 働く水平慣性力によるものである。





現行設計法による予測と提案設計法との比較 図-3 は現行設計法によっ

て求めた荷重と断面力の分布である。図−3(a)の荷重のスケールは図−1、図−2とは異なるが、図−3(b)の断面力のスケー ルは図-2と同じである。

Prediction of seismic behavior of buried box culverts through a new design method: J.Tohda (Osaka City Univ.), T.Shimazu (Asano Taisei Kiso Engineering), H.Yoshimura (National Institute of Technology, Anan College) and Y.Inoue (Chuou Fukken Consultants).

図-3(a)の荷重 の○と●はそれ ぞれ垂直荷重(垂 直土圧と地下水 圧の和)とせん断 土圧τで、れ反時 計回りを正とし て表している。

現行設計法で は、地震時増分 荷重は地盤の相 対変位δ_gと周面

せん断力 τ_{g} の両者によって生じるものと仮定 され、耐震計算例には $\delta_{g} \ge \tau_{g}$ の値が示されて いる。ところが、実際に管きょに働く垂直・ せん断両荷重pは、 $p=p_{1}+p_{2}$ 、 $p_{1}=k(\delta_{g}-\delta_{p1})$ 、 $p_{2}=\tau_{g}-k \delta_{p2}$ として算定するのが正しい。ここ に、 $p_{1} \ge p_{2}$ はそれぞれ $\delta_{g} \ge \tau_{g}$ に起因する管き ょ表面に働く荷重、 $\delta_{p1} \ge \delta_{p2}$ はそれぞれ $\delta_{g} \ge \tau_{g}$ によって生じる管きょの変位、kは地盤のばね 定数である。耐震計算例に示された δ_{g} 、 τ_{g} は管 きょ表面に働く荷重 p_{1} 、 p_{2} とは異なることに 注意が必要である。図-3 に示した地震時増分





と地震時における垂直荷重とせん断土圧はいずれも p=p1+p2 によって求めている。

常時の現行設計荷重は、頂板では等分布であり、これは図-2に示した提案設計法による常時の凹型分布とは異なるが、 側板と底版の荷重分布は現行・提案両設計法で良く似ている。地震時の現行設計荷重は、図-2ではゼロであったでが⇒で 示す方向に働き、またσは図-2の分布とは異なって左下の隅角部のみに集中しており、提案設計法による地震時荷重とは 異なる。なお、地震時増分と地震時で側板下方のでが一定になっているのは、地盤強度で頭打ちされているためである。

図-3(b)の現行設計法のMは図-2のMに比べると全体にかなり小さいが、分布形はほぼ同じであり、矩形きょが地震 によって図-2と同じモードで変形することが分かる。このように、変形モードは現行・提案両設計法で似ているが、図 -3(a)に示した現行設計法の地震時増分荷重は、 τ の方が σ よりもかなり大きいので、現行設計法では地震による矩形きょ の変形を引き起こす主因が矩形きょ表面に働く τ であると仮定していることが明らかである。これに対して、図-2の提案 設計法では、実験事実に基づいた τ =0の条件で地震時に同じ変形モードを生じている。さらに、図-3(b)と図-2の地震 時Nの分布の相違もこの両設計法の τ の相違によって生じていると解釈できる。056 034

以上から、提案・現行両設計法では、前報³⁴⁰の RC 管、FRPM 管の場合と同様に、想定する地震時の土圧発現メカニズムが異なるため、地震時に矩形きょに働く荷重と断面力が全く違うものになることが確かめられた。

現行・提案両設計法による断面照査の比較 図-4 は、提案・現行両設計法によって予測した地震時の曲げに対する断面照査の結果を示している。図中の数値は各断面位置における r_iM_d/M_{ud} の値で、上段が提案設計法、下段が現行設計法による値である。ここに、 r_i は構造物係数(=1)、 M_d は矩形きょに生じる曲げモーメント、 M_{ud} は設計曲げ耐力である。図から、提案設計法による r_iM_d/M_{ud} の最大値 0.64 は現行設計法の最大値 0.44 よりも 1.45 倍ほど大きく、現行設計法が提案設計法に比べてかなり危険側の設計となっていることが分かる。

謝辞 図−4 の断面照査については、中央復建コンサルタンツの山本和広氏の支援を受けたことを記し、感謝の意を表する。



参考文献 1) 東田淳 (2016): 弾性論に基づく円形管の応答変位法に対する批判的考察, 71 回土木学会年講, Ⅲ-068, pp.135-136. 2) 井上 他 (2016): 円形管の耐震設計法(断面方向)の開発, 71 回土木学会年講, Ⅲ-069, pp.137-138. 3) 島津他 (2016): 提案設計法と現行設計法に よって予測した RC 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学会年講, Ⅲ-070, pp.139-140. 4) 吉村他(2016): 提案設計法と現行設計法によって 予測した FRPM 管の地震時挙動の比較, 71 回土木学会年講, Ⅲ-071, pp.141-142. 5) 島津他 (2017): 現場打ちボックスカルバートの耐震設 計法(断面方向)の提案, 52 回地盤工学研究発表会 (投稿中). 6) 日本下水道協会(2014): 下水道施設の耐震対策指針と解説 2014年版. 7) 日 本下水道協会(2015): 下水道施設耐震計算例(管路施設編) 2015 年版. 8) J.Tohda, H.Yoshimura and K.Maruyoshi (2015): Centrifuge Model Tests and Elastic FE Analysis on Seismic Behavior of Buried Culverts, *15th Asian Regional Conference on SMGE*, JPN-106.