

鋼橋の疲労強度向上法と 凍結防止剤による腐食損傷について

 岐阜大学

岐阜大学工学部社会基盤工学科 准教授
木下幸治

研究背景:鋼橋の溶接部の疲労強度向上法について



The International Institute of Welding

IIW Commission XIII

IIW Recommendations
on
Post Weld Fatigue Life
Improvement
of
Steel and Aluminium
Structures

XIII-2200r7-07

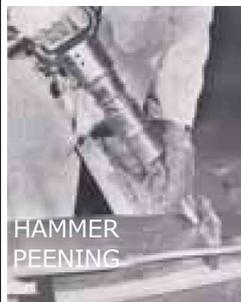
P. J. Haagensen and S. J. Maddox

 NTNU Revised 06 July 2010



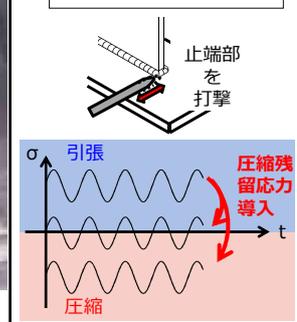
4つの処理法を対象:

- ①BURR GRINDING ②TIG DRESSING
- ③HAMMER PEENING ④NEEDLE PEENING



S J Maddox: Fatigue Strength
of Welded Structures
(Second Edition) 引用

圧縮残留応力導入後の
溶接止端部の応力状態



 岐阜大学

研究背景: High Frequency Mechanical Impact Treatment (HFMI)

2011年頃より, HFMIに関するガイドラインについて

Ultrasonic Impact Treatment (UIT)	Ultrasonic Peening (UP)	High Frequency Impact Treatment (HiFIT)	Ultrasonic Needle Peening (UNP)
			
UIT [3]	UP [4]	HiFIT [5]	UNP [6]

Fig. 9: Examples of four different tools for high frequency peening treatment.
 M.M. Pedersen, et al. : Comparison of Post Weld Treatment of High Strength Steel
 Welded Joints in Medium Cycle Fatigue, XIII-2272-09, IIW引用

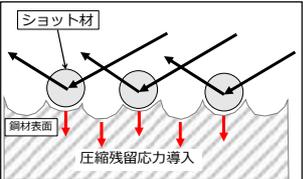
課題:

- 新しい技術開発
- き裂閉口処理への応用

 岐阜大学

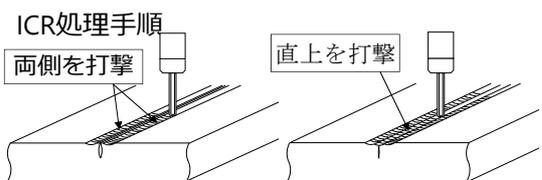
提案する技術

1. ショットピーニングを用いた鋼橋溶接継手部の疲労強度向上法




2. PPP (Portable Pneumatic needle-Peening) を用いたき裂閉口処理法

ICR処理手順

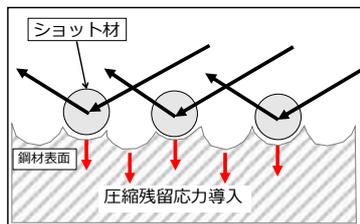


 岐阜大学

鋼橋の維持管理全体の高度化に関する
ワークショップ

ショットピーニングについて

- ショットピーニングは、鋼材表面に無数のショット材を衝突させることにより表面に圧縮残留応力を導入する技術である。すでに、航空機関連の部品へ実用化されているように、ショット材と投射方法等により品質確保が正確である点は優位性が高い。



しかし、既設鋼橋への適用を想定した場合

- 現場でのショット材の回収が困難であること。
- 施工性の良い小型の機械の開発が必要であること。

以上より、ショットピーニングによる疲労強度向上は見送られていた。



- そこで、鋼橋の塗替塗装工事時にショットピーニング処理を実施可能とする工法を開発。



鋼橋の塗替塗装工事におけるショットピーニング処理

この工法は、

- 塗替塗装時に行うショットブラストと同様の設備を使用し、特殊投射用ノズルとブラスト機セパレートシステムをショットピーニング用に交換し、ショットピーニングを実施可能にした。
- 困難な現場でのショット材の回収を真空回収装置により可能にした。
- ショット材は繰返し利用できるため経済性、環境性にも優れている。

特殊投射用ノズル セパレートシステム



ショット材回収装置



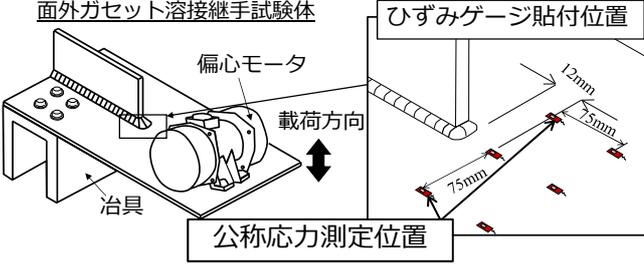
- 上記のような装置により、現場でのショットピーニングが実現可能になったことは高い品質確保を可能にし、施工性・安全性、経済性、汎用性、並びに疲労強度の向上の観点から非常に優れている。



疲労強度向上効果検証：板曲げ疲労試験

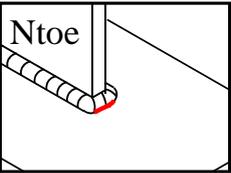


面外ガセット溶接継手試験体

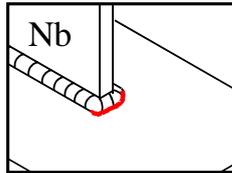


ひずみゲージ貼付位置
公称応力測定位置

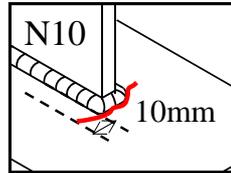
- 公称応力計測位置で応力範囲80MPa程度の大きさを与えた。
- 応力範囲80MPa程度で繰返し回数1000万回に至った場合、応力範囲120MPa程度に増加させて継続した。



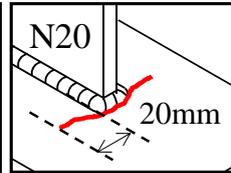
Ntoe



Nb



N10
10mm

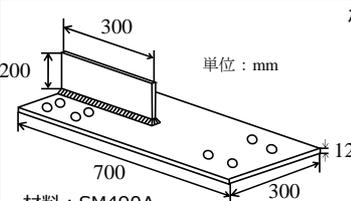


N20
20mm

試験体には、き裂検知用の被覆銅線を貼付し、銅線切断された時点のき裂長さの繰返し回数を計測した。

岐阜大学

疲労強度向上効果検証：面外ガセット溶接継手試験体



単位：mm

材料：SM490A
溶接：CO₂半自動溶接

標準ガセット試験体



既設鋼橋の塗替塗装時を想定した場合、ショットブラスト実施後にショットピーニング実施。

試験体	止端処理	試験体	止端処理	試験体	止端処理
A1	溶接まま	B1	ショット	BP1	ショットブラスト+
A2		B2	ブラスト	BP2	ショットピーニン
A3		B3	処理	BP3	グ処理

ショットピーニング処理状況



ショットブラスト・ショットピーニング仕様
→次のスライド

	ρ(mm)	L(mm)	H(mm)	θ(°)	d(mm)	w(mm)	L'(mm)
A	0.26	12.6	8.4	115	0.00	0.0	21.3
B	0.43	13.2	8.5	127	0.03	0.6	21.9
BP	0.73	12.8	8.3	131	0.07	1.4	21.4

ショットブラスト処理後に、ショットピーニングにより溶接止端形状が若干の改善が伺える。

岐阜大学

鋼橋の維持管理全体の高度化に関する
ワークショップ

ショットブラスト, ショットピーニングの仕様

ショットブラスト仕様

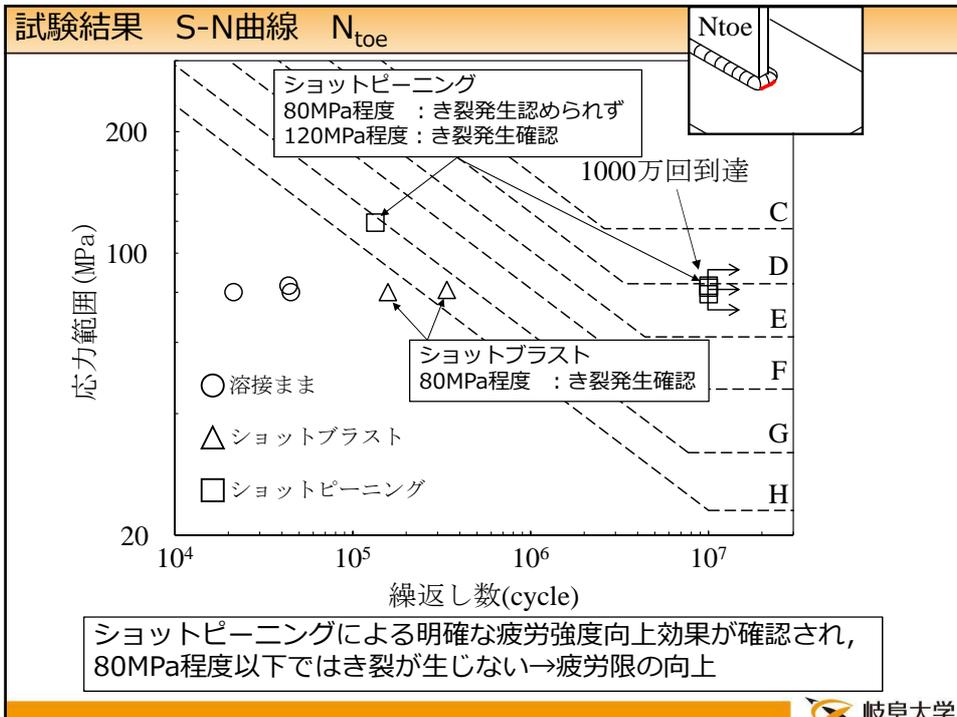
仕様	仕様	検査方法
除錆度	ISO Sa2.5	目視 (拡大鏡)
研掃材	スチールグリッド 粒径: 0.8-1.0mm	材料検査・ ゲージ
エア圧力	0.6MPa以上	圧力計
投射時間	10-15s	ストップ ウォッチ
投射距離	30-40cm	ゲージ
噴射量	38kg/min以上	台秤
表面粗さ	80μm以下	粗さ測定機

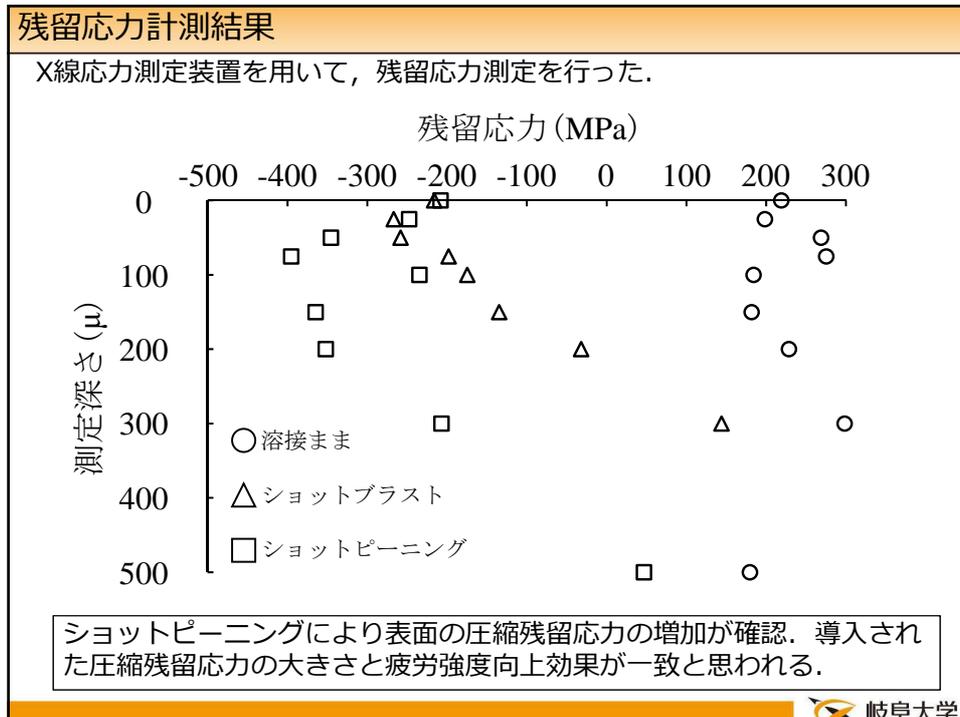
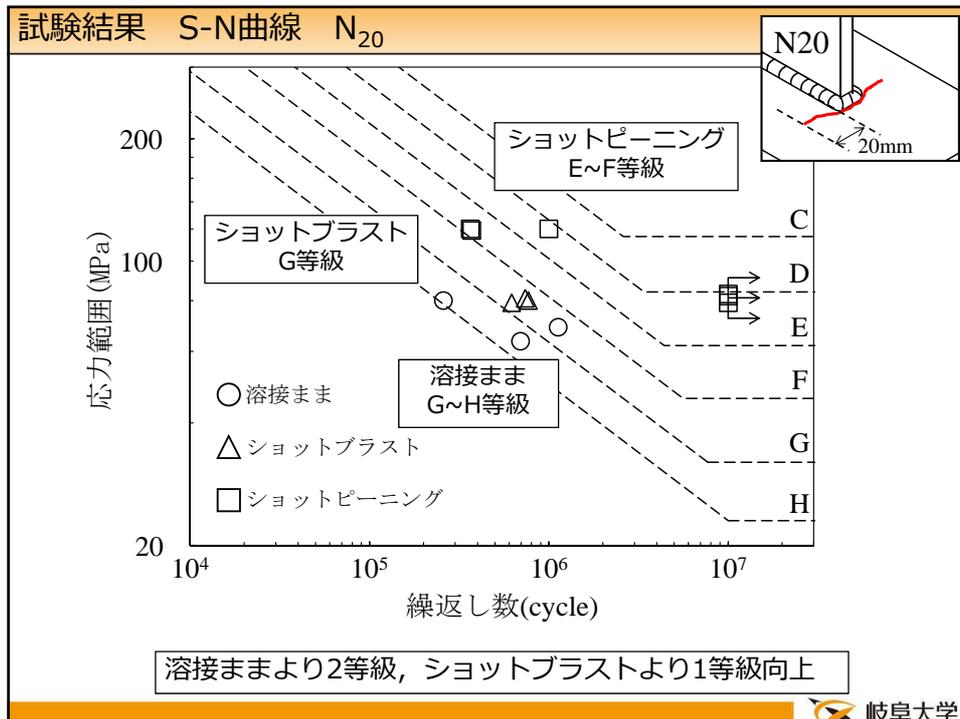
ショットピーニング仕様

仕様	仕様	検査方法
ノズル内径	8mm	ゲージ
研削材	RCW10PH 粒径: 0.8-1.0mm	材料検査・ ゲージ
エア圧力	0.6MPa以上	圧力計
カバーレージ	80%以上	目視 (拡大鏡)
投射時間	72s (36s×2回) ※50cm当たり	ストップ ウォッチ
投射距離	5-10cm	ゲージ
噴射量	38kg/min以上	台秤
アルメンアーク クハイト	0.312mmA以上	アルメンゲージ
表面粗さ	80μm以下	粗さ測定機

研掃材及び除錆度は、鋼橋製作時の素地調整と同等とした。
一方、投射距離、投射時間、ショット圧、投射ノズル径・角度、ショットピーニング材粒径等は、別途、同型の試験体や小片の鋼板を用いたショットピーニング施工の予備試験に基づき、導入残留応力が大きくなるよう試行錯誤的に決定した。

岐阜大学





PPP処理とは

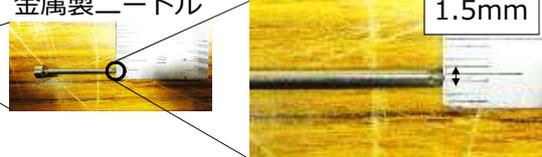
PPP (Portable Pneumatic needle-Peening) 処理は圧縮空気による高速振動を装置先端の先端曲率半径1.5mmの金属製ニードルに伝達し、振動したニードルが溶接止端部を打撃することにより、塑性変形を生じさせ、圧縮残留応力を導入、同時に止端形状改善による応力集中を緩和させる方法である

東洋精鋼社製 (本社：愛知県弥富市) Portable Pneumatic needle-Peening

ピーニングヘッド



金属製ニードル

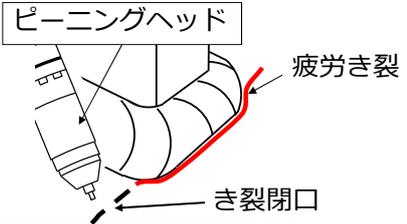


1.5mm

ICRによるき裂閉口処理手順



PPP処理のき裂閉口の試み



岐阜大学

板曲げ疲労試験

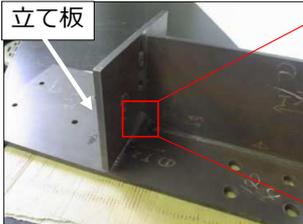
試験体一覧

試験体名	PPP処理回数
AP1	10
AP2	5
AP3	3

計3体

ガセット前面に立て板を設置したスカラップ試験体とした

立て板

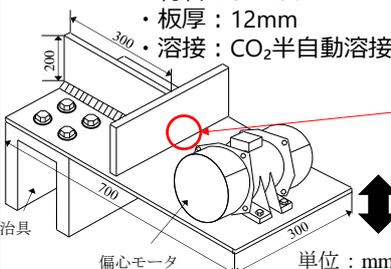


スカラップ部を模擬



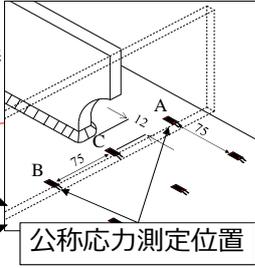
板曲げ疲労試験

- 材料：SM490
- 板厚：12mm
- 溶接：CO₂半自動溶接

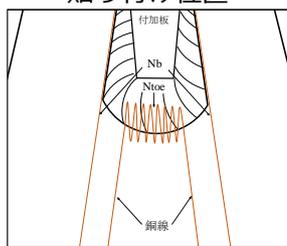


公称応力測定位置

ひずみゲージ貼付位置



き裂検知用銅線 貼り付け位置



Φ0.05mmの銅線を貼付、銅線が切断された時点での繰返し数とき裂長さを記録

応力範囲80MPa, R=-1で実施

PPP処理方法

PPP処理はき裂がNbの長さで実施後、き裂が再開する毎に繰り返し処理

特殊ピン
スカラップ狭隘部用の特殊ピンに変更

20mm

1 3 5 2 4 6

⇒スカラップが存在するため、図中の番号の順に左右三回ずつ計6回PPP処理を実施
打撃はき裂の直上から押しつぶすように3~4パス程度を目安に実施
処理速度0.08m/min. 仕上げ延長65mmに対して処理時間50sとしている

き裂閉口確認

PPP処理によりき裂の閉口を確認するために、MT, PTを行った。

PPP処理前

PPP処理後

閉口個所に反応

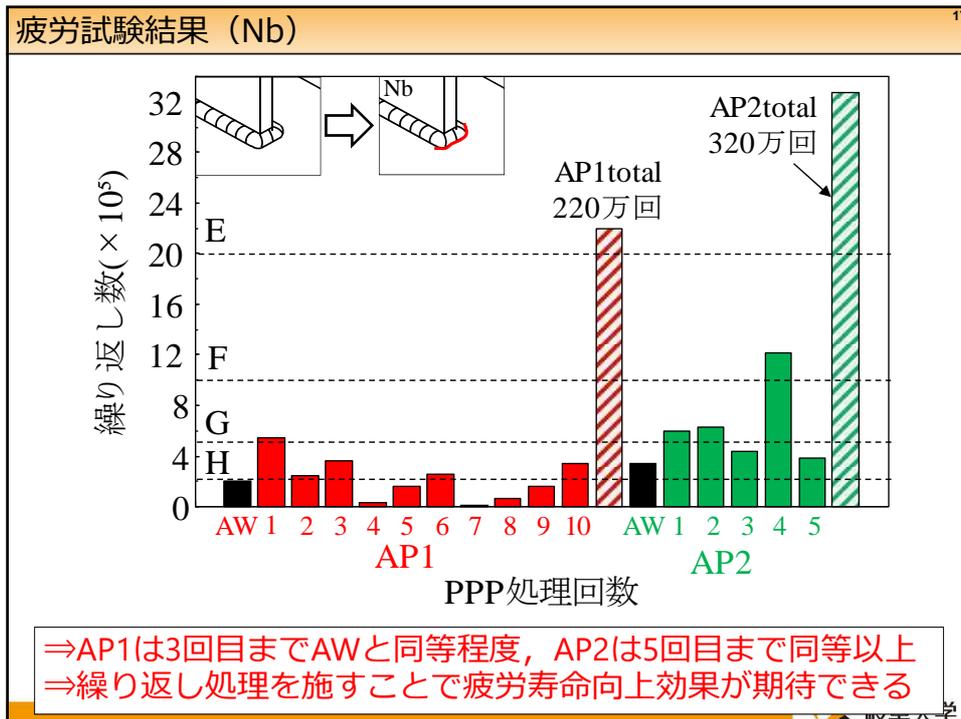
磁粉探傷試験 (MT)

浸透探傷試験 (PT)

反応なし

PPP処理では表面から1mm程度しか処理できないため、MTでき裂閉口部が反応している。PTではき裂閉口部は反応せずPPP処理によるき裂の閉口が確認できる。

岐阜大学



平板試験体を用いたき裂閉口量の確認

試験体 ・材料: SM490
・板厚: 12mm

300mm

320mm

0.1mm程度のスリットを用いてき裂を模擬

打撃方法

1: 衝撃き裂閉口処理 (以下, ICR処理)

フラックスチッパ

ICR処理手順

両側を打撃

直上を打撃

5mm

4mm

2: き裂直上打撃PPP処理
⇒本研究における処理方法

3: き裂閉口打撃PPP処理
⇒ICR処理と同様の手順でき裂を閉口

岐阜大学

き裂閉口量の比較結果 19
1) 石川ら：2010

0.3mm程度
ICR処理
2.0mm
1.5mm
き裂直上打撃PPP処理
き裂閉口打撃PPP処理

⇒ICR処理の処理深さは石川ら¹⁾と同等の0.3mm程度。
⇒ICR処理による閉口量も石川ら¹⁾と同等の2.0mm程度。
PPP処理では閉口処理法によらず1.5mm程度となった。

岐阜大学

結論：疲労強度向上法について

1. ショットピーニングを用いた溶接継手部の疲労強度向上法

- ガセット試験体の疲労試験結果より、ショットピーニングを実施することにより、溶接ままと比べて2等級近く、ショットブラストと比べて1等級近く疲労強度向上する。
- また、応力範囲80MPa程度ではき裂の発生が認められず繰返し回数1000万回に到達した点から、ショットピーニングによる高い疲労強度向上効果が確認された。
- 残留応力測定結果より、ショットブラスト後であってもショットピーニングにより深さ方向に圧縮残留応力を導入可能である。

2. PPPを用いたき裂閉口処理法

- 疲労き裂長さ Nb に対し、PPP処理によりき裂を閉口することより、As-weldと同程度以上の疲労寿命延命効果が期待できる。
- 破面観察より、回し溶接部から狭隘部にかけて処理深さに1.0mm程度以上差が生じており、き裂閉口処理方法に関する更なる改善が必要である

岐阜大学