局部座屈損傷部を加熱/プレス矯正した鋼製橋脚の力学挙動支配因子の特定

大阪大学大学院　学生員　○森本　拓世
大阪大学 接合科学研究所　正会員　廣畑　幹人
〃　正会員　金　裕哲

１．はじめに

地震，火災および車両事故等により局部座屈した鋼橋部材損傷部の早期復旧を目的に，現場で施工が可能，かつ，新部材を必要としない加熱/プレス矯正による補修に着目し，一連の研究を行ってきている[1),2)].

本報では，正負交番載荷による局部座屈損傷部を加熱/プレス矯正した鋼製橋脚の力学挙動を支配する因子を特定する.

２．健全供試体に対する正負交番載荷実験と弾塑性大変形解析による実験シミュレーション

鋼製橋脚を模擬した供試体(**図 1**)に対し，正負交番載荷実験を行った[2)]．供試体諸元を**表 1** に示す．公称降伏軸力の 15%の軸力(800kN)負荷下において，公称降伏水平変位 δ_{Y0}(=9.6mm)を基本変位として繰返し荷重を漸増載荷した(**図 2**)．4 サイクル目に最大荷重に到達，その後荷重の低下を確認し，載荷を終了した．着目部分(**図 1**)の変形モードであるが，繰返し載荷方向に直交する上下面は供試体内側にへこみ，載荷方向に平行な側面は外側に膨らむ形であった．面外変形の最大値(絶対値)は約 9mmあった.

シェル要素を用いた弾塑性大変形解析により，正負交番載荷実験をシミュレーションした．解析には移動硬化則を考慮したバイリニア形の応力ーひずみ関係を用いた．着目部分における面外方向の初期たわみには実測値を与えた．繰返し荷重と載荷点変位の関係を**図 4(a)**に示す(実線:解析，点線:実験)．解析結果は実験をほぼ再現していることを確認した.

表 1　供試体諸元

材料		SM490
公称降伏応力 σ_Y (MPa)		325
ヤング率 E (GPa)		200
基部ー載荷点距離 h (mm)		2650
断面積 A (mm^2)		16728
断面 2 次モーメント I (mm^4)		1.04×10^9
断面係数 Z (mm^3)		3.33×10^6
細長比パラメータ λ		0.27
幅厚比パラメータ	補剛板 R_F	0.74
	補剛材間 R_R	0.74
	補剛材 R_S	0.41
縦補剛材剛比	$\gamma_l/\gamma_{l.req}$	1.00
	γ_l/γ_l*	1.00

３．加熱/プレス矯正

交番荷重による局部座屈損傷部を，現場を意識し，供試体を解体することなく加熱/プレス矯正した(**図 3**)．バーナーによる加熱と水冷，さらにジャッキを用いたプレスにより面外変形を矯正した．鋼材の機械的性質を劣化させないよう，加熱温度はA_1変態点(720℃)以下の 550-650℃に保持した．面外変形を完全に矯正しようとすると溶接部に割れなどが生じる恐れがあり，やむを得ずある程度の変形を残したままにした(以下，残存不整と記す).

残存不整であるが，側面は変形モードと同傾向，上下面は

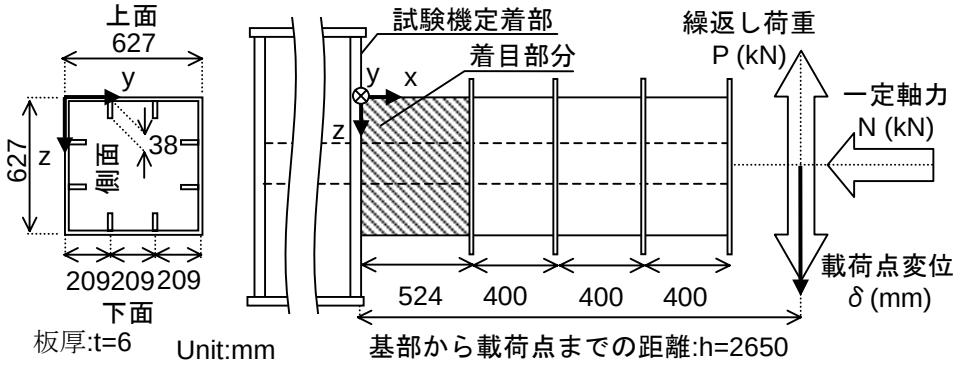
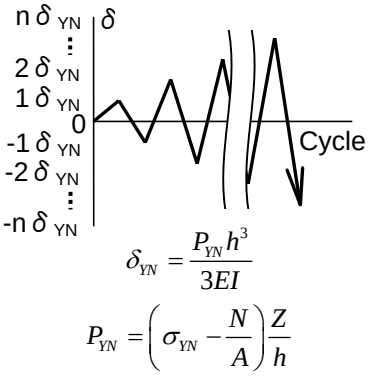


図 1　供試体



$$\delta_{YN}=\frac{P_{YN}h^3}{3EI}$$

$$P_{YN}=\left(\sigma_{YN}-\frac{N}{A}\right)\frac{Z}{h}$$

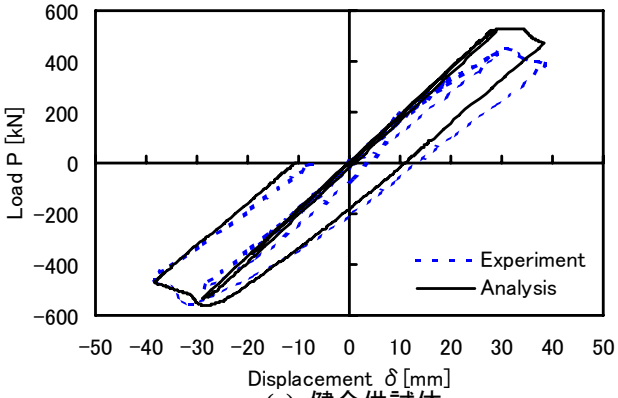
図 2　載荷パターン

キーワード　補修補強　加熱/プレス矯正　鋼製橋脚　残存不整
連絡先　〒567-0047　茨木市美穂ヶ丘 11-1　大阪大学接合科学研究所 TEL06-6879-8647

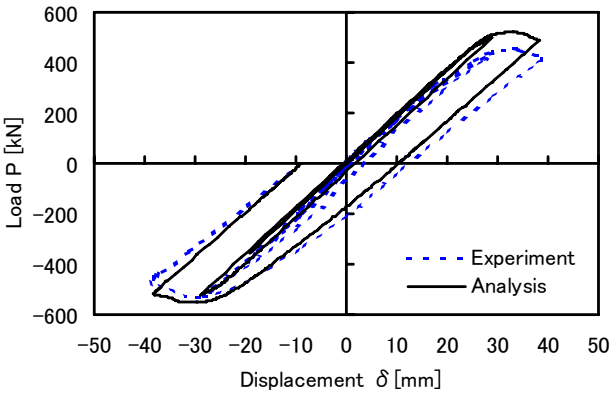
(a) 加熱およびプレス

(b) 水冷の併用

図 3　加熱/プレス矯正



(a) 健全供試体



(b) 矯正後供試体

図 4 荷重－変位関係

変形モードと逆傾向，すなわち，やや過度に矯正した．残存不整の面外方向絶対値は最大で約 7mm であった．

矯正後，溶接部に割れなど生じていないことを確認した．

4．加熱/プレス矯正後における正負交番載荷実験とそのシミュレーション

矯正後の供試体に対し，再度正負交番載荷実験を行った．荷重－変位関係を**図 4(b)**(点線)に示す．最大荷重，最大荷重時変位ともに低下することなく，健全供試体に対する実験結果とほぼ等しかった．

弾塑性大変形解析により，正負交番載荷実験をシミュレーションした．着目部分における面外方向の初期たわみとして残存不整の実測値を与え，応力－ひずみ関係は健全供試体の場合と同じとした．実験と解析の結果はほぼ一致している(**図 4(b)**)．これらの結果は，加熱温度をA_1変態点以下に保持すれば，水冷を利用した加熱/プレス矯正によって鋼材の機械的性質は何ら劣化しないことを示唆している．すなわち，加熱/プレス矯正後における橋脚の挙動に対し，残存不整が支配的であり，不整をいかに制御するかが最重要となる．

残存不整に注目すれば，不整の絶対値は初期たわみ許容値(b/150=1.4mm)と比べて最大で約 5 倍大きいものの，上下面の不整は変形モード(供試体内側方向)と逆傾向になるよう，やや過度に矯正した．上下面の外側方向への不整が，交番荷重による内側への変形に抵抗するため，矯正後供試体の最大荷重は健全供試体の場合とほぼ同じになったものと推測される．

5．まとめ

正負交番載荷による局部座屈損傷を加熱/プレス矯正した鋼製橋脚の力学挙動を支配する因子を特定するため，一連の実験および解析を行った．

(1)交番荷重による局部座屈損傷部をA_1変態点以下で加熱/プレス矯正し，再度，交番荷重を負荷した．結果によれば，矯正後供試体の最大荷重および最大荷重時変位はそれぞれ健全供試体とほぼ同じであった．

(2)加熱/プレス矯正しきれない残存不整を初期たわみとして，矯正後供試体に対する実験を弾塑性大変形解析によりシュミレーションした．健全供試体と同じ応力－ひずみ関係を用いても，解析により実験を精度良く再現できた．この結果は，加熱/プレス矯正時の加熱温度をA_1変態点以下とすれば，鋼材の機械的性質は何ら劣化しないことを示唆している．

(3)加熱/プレス矯正後における橋脚の挙動を支配する因子は，矯正しきれない残存不整であることが明らかになった．したがって，残存不整をいかに制御するかが，橋脚の健全度を担保するうえで最重要となる．

参考文献

1)金 裕哲ら：加熱矯正された十字柱突出板の圧縮挙動，鋼構造論文集 13-49 (2006.3)

2)金 裕哲ら：局部座屈損傷部を加熱/プレス矯正した鋼製橋脚の力学挙動，構造工学論文集 Vol5.4A (2008.3)