

低降伏点鋼材接着による鋼製橋脚耐震補強工法に関する実験的研究

九州大学	学生員	○長	悟史	九州大学	フェロー	大塚	久哲
九州大学	学生員		山口 斉	九州大学	学生員	矢葺	亘

1. 実験の目的及び概要

兵庫県南部地震の発生により都市高速道路橋等において使用されていた鋼製橋脚が数多く被災した。それらの原因は補剛板の座屈や、角溶接部の亀裂などであり、今後の直下型大地震に対して既存の鋼製橋脚を耐震安全性の優れたものとするためには、何らかの補強が必要である。補強方法としては補剛材剛比の増加、角溶接部の補強等が提案されているが、低降伏点鋼材接着による鋼製橋脚耐震補強工法も有効であると考えられる。この工法は、既設または新設鋼製橋脚の補剛板の外周に低降伏点を有する鋼板を接着及び溶接し、地震時の曲げ変形に対して低降伏点鋼材の塑性変形によって地震エネルギーを吸収し、かつ座屈等の不安定現象を回避しようとするものである。本文では、模型供試体の概要、2軸正負交番載荷実験要領、地震時保有水平耐力法による事前検討、動的解析について述べた。

2. 供試体形状

供試体は矩形断面基本供試体1体、矩形断面補強供試体1体（以後、基本供試体、補強供試体と呼ぶ）を製作した。使用材料は、柱パネル・縦リブ・横リブはSS400、補強鋼板は、LYP鋼板とする。また供試体の詳細は図-1に示す。

3. 補強方法

補強方法は、以下の条件を考慮して決定する。

- (1) じん性の向上が期待できること。
- (2) 剛性及び耐荷力の大幅な上昇がないこと。
- (3) コスト的に問題のないこと。
- (4) 現場での施工に重大な困難が生じないこと。
- (5) 施工後、断面寸法・美観など、周囲への影響が小さいこと。

補強供試体に用いる鋼板は、供試体の補剛板

と比して降伏点の低い鋼材であり、供試体の基部から2パネル分の高さまで4面すべてに張り付ける。添付方法としては、補剛板全面に接着剤を添付し、供試体表面に接着させる。溶接については、供試体基部から50mmの位置までは未溶接部で、それより上部部分を溶接する。

4. 載荷方法

載荷は、まず供試体に既設橋脚の死荷重に相当する軸力Nを載荷した後、その軸力を一定に保持した状態で柱頂部の載荷点に水平変位制御による正負の水平繰返し漸増載荷を行う。軸力Nは、公称降伏応力を用いて計算した全断面降伏荷重の11%となるよう設定する。

供試体の下端（ベースプレート上板部）が降伏するときの載荷点の変位を δ_y とすると、繰り返しの基本水平変位 δ_y 及び P_y は(1)，(2)式で与えられる。ここで、 σ_y は材料試験結果より得られた降伏応力である。

$$\delta_y = \frac{P_y h^3}{3EI} \dots (1) \quad P_y = \left(\sigma_y - \frac{N}{A} \right) \frac{Z}{h} \dots (2)$$

なおEIは曲げ剛性(kgf・cm²)、 σ_y は鋼材の公称降伏応力であり、SS400では3400kgf/cm²、低降伏点鋼材では850kgf/cm²。また、Nは軸力(kgf)、Aは供試体の断面積(cm²)、Zは断面係数である。

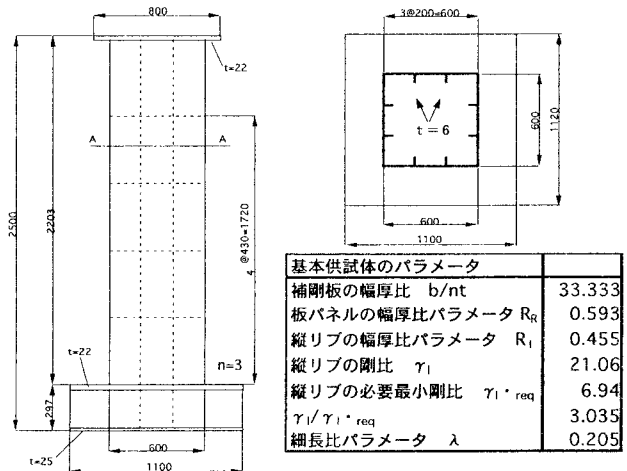


図-1 矩形断面基本供試体(単位 mm)

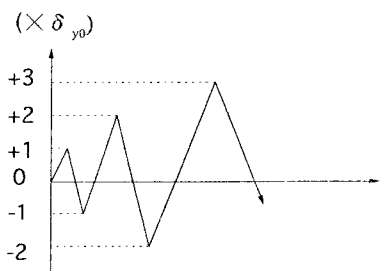


図-2 載荷サイクルの概要図

繰り返し載荷については、まず δ_{y0} を片振幅とした交番載荷を行い、その後変位 δ_{y0} の整数倍の変位を片振幅とした両振り交番載荷 ($\pm 2 \delta_{y0}$ 、 $\pm 3 \delta_{y0}$ 、 $\pm 4 \delta_{y0}$ ・・・) を水平荷重が降伏水平荷重 P_y 以下に低下するまで行う。載荷サイクルの概要を図-2に示す。

5. 鋼製橋脚の地震時保有水平耐力

地震時保有水平耐力の算定は、実験に用いた基本供試体及び補強供試体の諸元に基づいてそれぞれの降伏、終局状態を求め、基本供試体の降伏ひずみ、降伏時の水平耐力及び水平変位を求めた。また終局状態においては道路橋示方書・V耐震設計編において終局ひずみを5%と規定しているため、これを参考にして引張側鋼材及び圧縮側鋼材の終局状態を算定した。ただし、既存橋脚が全てこれを満足することを保証されているわけではない。算定手順としては、まず橋脚を高さ方向にm分割し、分割された各断面ごとに、更に慣性力の作用方向にn分割した。平面保持の仮定が成立するものとして求めた中立軸からの距離に比例するひずみ及びこれに対応する応力度が各微小要素内では一定として、つり合い条件を満足する中立軸を試算によって求めた。補強供試体においては、基本供試体の外周に低降伏点鋼材を接着させたものであるため、低降伏点鋼材が先に降伏するものと考えられる。ここで低降伏点鋼材の公称降伏応力及び、ヤング率が、基本供試体を使用した鋼材とは異なるため、新たに低降伏点鋼材の降伏点を導入した。(降伏荷重・・・ P_k 、降伏変位・・・ δ_g) 保耐法から得られた降伏及び終局状態の荷重-変位関係データ及び曲線を図-3に示す。

6. 動的解析

(1) 解析手法

本解析では、実験で用いる供試体を対象とし、動的解析を行った。上部工は1質点にモデル化し、橋脚部分については二次元はり要素にモデル化した。また、塑性ヒンジを考慮するため橋脚基部を更に20分割し、二次元非線形はり要素を用いた。橋脚のM-φ関係は5.に示した地震時保有水平耐力法から算出した。復元力特性は基本供試体においてはバイリニアモデルを、補強供試体は低降伏点鋼材の降伏点を考慮したトリリニアモデルを用いた。入力地震波波形は、道路橋示方書 V耐震設計編に基づきタイプⅡの地震動（神戸海洋気象台地盤上の地震波）を用いた。

(2) 解析結果

動的解析によって得られた基本供試体及び補強供試体のそれぞれの最大応答変位と応答塑性率を示す。最大応答変位については基本供試体の変位の方が補強供試体の変位を上回っている。これは図-3の荷重変位曲線から明らかのように補強供試体の方が基本供試体よりも履歴吸収エネルギーが大きいためであると考えられる。塑性率に着目すると補強供試体の方が基本供試体よりも大きい値を示している。現段階ではコンクリートを充填していない鋼製橋脚及び、低降伏点鋼材を添付した橋脚については許容塑性率に関しての定義がなされていないため塑性率についての判断はできないが、1月に実施する前述の基本、補強両供試体を用いた正負交番載荷実験の結果より考察を行う予定である。なお、本研究では(財)鋼材倶楽部の「平成9年度研究助成制度」による研究助成費を得ていることを付記し、謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震編,1996年
- 2) 建設省土木研究所：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書（Ⅰ）

- 鋼製橋脚の正負交番繰り返し載荷試験 -

表-1 荷重変位データ

	P_g	δ_g	P_y	δ_y	P_u	δ_u
基本供試体	—	—	49.96	0.78	70.29	7.32
補強供試体	35.81	0.45	54.29	0.71	82.43	7.95

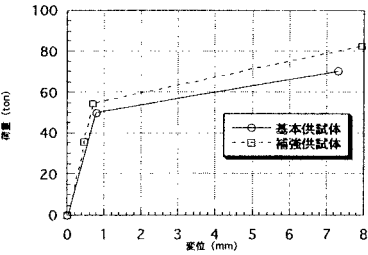
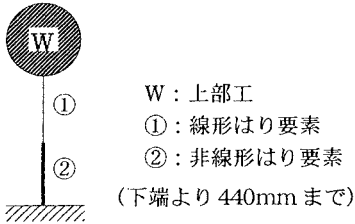


図-3 保耐法から得られた荷重-変位曲線



W：上部工
①：線形はり要素
②：非線形はり要素
(下端より440mmまで)

図-4 解析モデル

表-2 解析結果

	基本供試体	補強供試体
最大応答変位 (cm)	3.52	3.18
応答塑性率	3.81	4.35