

第 部門 低降伏点鋼板を活用した鋼製橋脚の耐震補強効果に関する解析的研究

大阪市立大学工学部	学生員	○田中	佳典
大阪市立大学大学院工学研究科	正会員	松村	政秀
大阪市立大学大学院工学研究科	正会員	北田	俊行
JIP テクノサイエンス(株)	正会員	佐藤	知明
日立造船鉄鋼(株)	正会員	矢幡	武人

1. 研究背景および目的

1995年に発生した兵庫県南部地震では多数の鋼製橋脚において甚大な被害が発生した。兵庫県南部地震以降、既設鋼製橋脚はコンクリート充填補強、および、コンクリート充填に伴う耐力上昇が許容できない場合には、鋼断面補強により耐震補強が行われてきた。一方、特定の部材を塑性変形させ地震エネルギーの吸収や減衰の付加¹⁾を図る耐震補強方法も考案されている。このようなエネルギー吸収部材へ適用される低降伏点鋼材は、降伏点が普通鋼よりも低く、また、バラツキも狭い範囲に収められている。さらに、高い塑性変形能が得られるように高い伸び性能も併せもっている。

本研究では、低降伏点鋼材からなる補強部材を鋼製橋脚に追加・設置することによって、橋脚の著しい損壊を防止できるような補強法を考案し、その補強効果を数値解析により検討している。

2. 補強方法および補強モデルの設定

まず、旧道路橋示方書に基づいて、単柱式で、高さ方向に等断面であり、無補剛正方形断面からなる鋼製橋脚の試設計を行い、その1/10倍したモデルを解析モデルと設定した。橋脚高さは1,500mm、一辺280mm、板厚は9mmで、幅厚比パラメータ R_R を0.60とした。上部構造の自重は343kNであり、軸力比は0.12である。なお、橋脚内部には、ダイヤフラムは設けず、コンクリートを充填しないものとする。また、初期不整は考慮していない。

つぎに、この既設橋脚に低降伏点鋼板を補強部材として追加・設置する工法として、3種類の補強モデルを設定した。なお、これらの補強モデルは、補強部材の鋼材の使用重量を統一し、補強範囲は脚長の全長とすることで、各補強モデルを容易に比較で

きるように設定した。

解析プログラムにはEPASS/USSPを用い、鋼材の構成則にはVon-Misesの降伏条件および関連流動則を用いて、完全弾塑性体として仮定した。

表1 解析に用いた鋼材の機械的性質

鋼種	記号	降伏点 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	ポアソン比	破断伸び [%]
普通鋼	SS400	285	480	207000	0.273	47.4
低降伏点鋼	LY225	216	306	206100	0.288	79.5

1) 鋼板貼付モデル

図1に示すように、この補強方法は、板厚3mmの低降伏点鋼板を橋脚に貼付した構造である。補強部材と橋脚とは、高さ方向に25mmごとに設けた剛な梁要素で接合している。

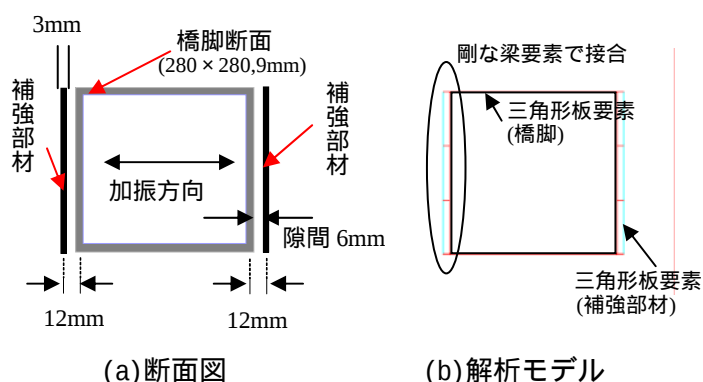


図1 鋼板貼付モデル

2) 角補強モデル

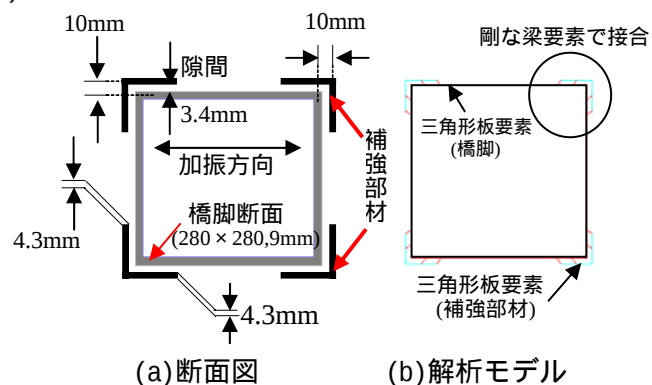


図2 角補強モデル

図2に示すように、この補強モデルは、断面の角部の外側に板厚4.3mmのL字型の補強部材を追加して、角溶接部の脆性的破壊の防止と、靱性の向上を期待した構造である。補強部材と橋脚とは、高さ方向に500mmごとに設けた剛な梁要素により隙間(3.4mm)を空けて接合している。そのため、接合位置間では、補強部材が変形できるようになった構造となっている。

3) 隙間空け鋼板貼付モデル

この補強モデルは、橋脚と補強部材の間に6mmの隙間を設け、板厚の3mmの低降伏点鋼板を貼付した構造であり、地震力が作用した時に補強部材が塑性変形し、地震のエネルギーを吸収することにより橋脚本体の損傷の程度を小さくすることを期待した構造である。補強モデルの断面は、図1と同様であるが、鋼板貼付モデルとは接合方法が異なる。また、補強部材と橋脚とは、高さ方向に500mmごとに設けた剛な板要素により接合している。

3. 弾塑性有限変位解析

1) 静的解析

橋脚のみに軸力が載荷された状態を初期状態として、橋脚頂部に水平荷重を漸増させた解析を行った。図3には $P-\delta$ 曲線を、表2には得られた主な結果を示す。なお、表2において、ピーク時変位とは、水平荷重が最大となるときの水平変位であり、耐力上昇率とは、各補強モデルの降伏荷重を補強前のモデルの降伏荷重で除した値である。

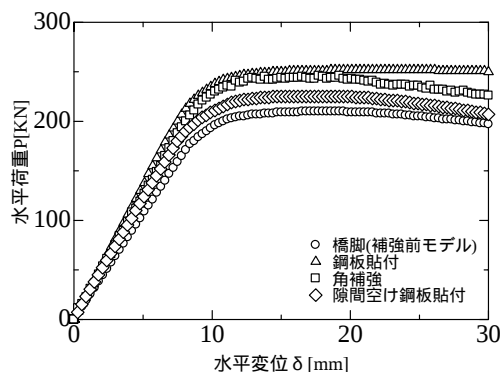


図3 $P-\delta$ 曲線

表2 静的解析結果の一覧

モデル名	降伏荷重 [kN]	初期剛度 [kN/mm]	ピーク時 変位[mm]	耐力上昇率
橋脚(補強前モデル)	153	21.2	16.5	-
鋼板貼付	218	27.1	22.2	1.425
角補強	160	26.9	16.5	1.208
隙間空け鋼板貼付	159	24.4	17.3	1.039

図3および表2より、鋼板貼付モデルと角補強モデルでは、初期剛度および最大荷重ともに上昇している。隙間空け鋼板貼付モデルでは、補強前モデルとほぼ同様な挙動を示す。

2) 減衰特性に関する評価

各解析モデルの固有周期を有するsin半波の加速度を入力し、自由振動解析を行った。このとき、入力加速度の最大値は、橋脚および補強部材の応答が弾性内となるように350gal、塑性域に達するように650galの2種類設定した。また、普通鋼と低降伏点鋼の等価減衰定数を0.01とし、構造物の減衰特性には、レーリー型減衰を設定した。表3に解析で得られた各モデルの減衰定数をまとめる。なお、表3において増加倍率とは、 h_2' の h_1' に対する減衰定数の増加の割合を示している。

表3 補強に伴う減衰定数の変化

モデル名	減衰定数		増加倍率 [%]
	弾性域 h_1'	塑性域 h_2'	
橋脚(補強前モデル)	0.06167	—	—
鋼板貼付	0.05676	0.07886	39
角補強	0.06667	0.08215	27.6
隙間空け鋼板貼付	0.06778	0.12296	81.6

表3によると、隙間空け鋼板貼付モデルが最も大きい減衰性能を有している。また、補強部材の塑性変形が減衰性の向上に有効であることがわかる。

4. 本研究のまとめと今後の課題

本研究では、鋼製橋脚に、補強部材として低降伏点鋼板を貼付する場合の耐震補強効果を数値解析により検討した。その結果、補強部材を塑性変形させることで、大きい減衰を得ることができることがわかった。本研究で設定したモデルの中では、低降伏点鋼板からなる補強部材を、橋脚に隙間を空け追加・設置する構造がもっとも有効であった。さらに、補強部材の寸法を適切に設定することにより、より大きな補強効果が期待できると考えられる。また、本研究では、補強高さを橋脚高さ全面としているため、補強高さの設定が必要である。

参考文献

- 大野隆平, 阿部雅人, 藤野陽三, Yi ZHENG: 極軟鋼板を用いた鋼製橋脚の損傷制御, 土木学会第53回年次学術講演会概要集, pp.234-235, 土木学会, 1998.10.