異なる損傷度合の円形断面鋼製橋脚に対するコンクリート充填修復に関する研究

愛知工業大学　学生会員　○嶋口儀之
愛知工業大学　正会員　鈴木森晶
大日コンサルタント株式会社　正会員　太田　樹

1. 序論

鋼製橋脚は市街地の高架道路や鉄道など重要構造物に多用されており，震災後の鋼製橋脚の早期復旧は人命救助，都市機能の回復のために極めて重要である．これまで新設および既存橋脚に対する補強については多くの研究がなされているが，地震により損傷した橋脚の修復方法とその耐震性能についての研究は，筆者らが行った事例を除き非常に少ない[1)~3)]．また，過去に筆者らが行った研究では，局部座屈が進行し，耐力が大きく低下した橋脚に対する修復および実験は行ってきたが，比較的軽微な損傷の橋脚についての修復の効果は明らかになっていない[2)]．

そこで本研究では，円形断面鋼製橋脚を対象として，損傷度合が異なる橋脚にコンクリート充填修復を施した場合の耐震性能を明らかにすることを目的とする．また，コンクリート充填高さを変えた場合およびダイアフラムの有無による修復効果の違いについて検討する．

2. 実験概要

2.1 損傷レベルの設定

損傷の程度については，図-1 に示すように，橋脚の水平荷重-変位関係に沿って，4 つのレベルを設定した．表-1 に道路橋示方書に示される耐震性能およびそれに相当する損傷レベルを示す．損傷レベル 1 は降伏荷重(H_y)から最大水平荷重(H_{max})に達する前の 70%程度までの領域とする．損傷レベル 2 は最大荷重の 70%程度から最大荷重程度までの領域とする．損傷レベル 3 は最大荷重から最大荷重の 95%程度まで荷重が低下する領域とする．損傷レベル 4 は荷重が最大荷重の 70%程度まで低下する領域とする．

2.2 実験供試体

本研究で使用した供試体は，外径 508mm，高さ 2115mm の円形断面鋼製橋脚であり，ダイアフラム無しを U シリーズ，ダイアフラム有りを S シリーズと表記する．供試体は漸増繰り返し載荷により所定の損傷を与え，U シリーズ，S シリーズに対しそれぞれ損傷レベル 2～4 に相当する供試体を各 2 体，計 12 体用意した．表-2 に新品時の供試体諸元を示す．

2.3 修復方法

修復方法は過去の研究で効果の高かったコンクリート充填修復を用いた[1)~3)]．充填高さは各損傷レベルについて，供試体外径 D の 0.5 倍および 1.0 倍の 2 種類とし，ダイアフラムの有無でそれぞれ各 1 体とする．充填したコンクリートは

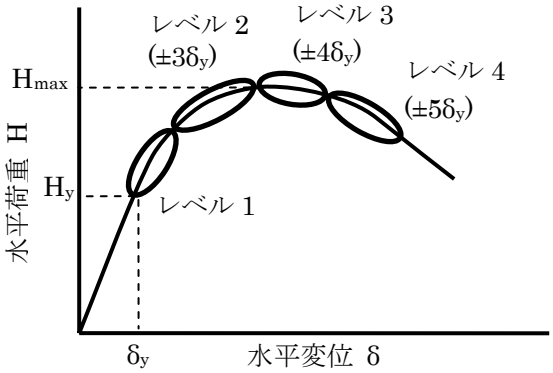


図-1　損傷レベルの設定

表-1 損傷レベルと橋の耐震性能

損傷レベル		橋の耐震性能[4)]
1	1	・橋全体の力学的特性が弾性域を超えない
2	2	・塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じる* ・損傷の修復を容易に行い得る限界の状態
3	3	・塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じる*
4		・橋脚の水平耐力を保持できる限界の状態

*本研究における塑性化を考慮する部材は橋脚である．

表-2　新品時供試体諸元

	U シリーズ	S シリーズ
鋼種	STK400	
載荷点高さ　h (mm)	2115	
外形　D (mm)	508	
板厚　t (mm)	6.36	6.35
ダイアフラム	無し	有り
ダイアフラム設置高さ (橋脚基部から)　a (mm)	―	254 or 508
ダイアフラム幅　b_d (mm)	―	50.0
ダイアフラム板厚　t_d (mm)	―	9.0
降伏応力　σ_y (N/mm²)	342	325
ヤング率　E (kN/mm²)	207	206
径厚比パラメータ　R_t	0.109	0.104
細長比パラメータ　$\bar{\lambda}$	0.309	0.302
降伏変位　δ_y (mm)	8.09	7.73
降伏荷重　H_y (kN)	167	159
軸力比　P/P_y	0.166	0.166

キーワード　コンクリート充填，鋼製橋脚，補修，修復，耐震性能
連絡先：〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247　TEL：0565-48-8121，FAX：0565-48-0030

呼び強度 16N/mm² のものを使用した．修復後，損傷前と同様の正負交番載荷を行い，修復後の耐震性能を明らかにする．

3. 実験結果

3.1 損傷レベルおよび充填高さの違いによる比較

図-2 に損傷レベル毎の水平荷重-水平変位の包絡線を示す．

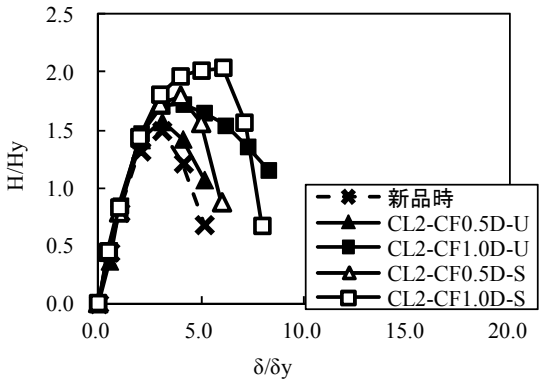
図-2(a)より損傷レベル 2 では，充填高さが 0.5D よりも 1.0D の方が最大水平荷重が高く，大変位で最大水平荷重に到達する結果となった．これは他の損傷レベルでも同様の傾向が見られた．U シリーズの充填高さ 0.5D(CL2-CF0.5D-U)では，新品時と同様な曲線となり，その他の供試体では，新品時に対して最大水平荷重が大きく増加した．

図-2(b)より損傷レベル 3 では，U シリーズの充填高さ 1.0D の場合では，新品時と同等まで最大水平荷重が回復しているのに対し，0.5D の場合では 7 割程度までの回復にとどまった．S シリーズでは，損傷レベル 2 と同様に，新品時より大きく増加した．

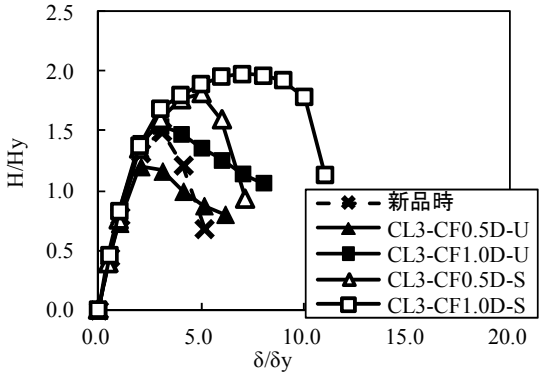
図-2(c)に示す損傷レベル 4 では，U シリーズでは充填高さが 0.5D，1.0D 共に最大水平荷重は新品時に対して 7 割程度となった．一方，S シリーズでは，充填高さが 0.5D，1.0D 共に新品時と同等まで回復する結果となった．

3.2 ダイアフラムの有無による比較

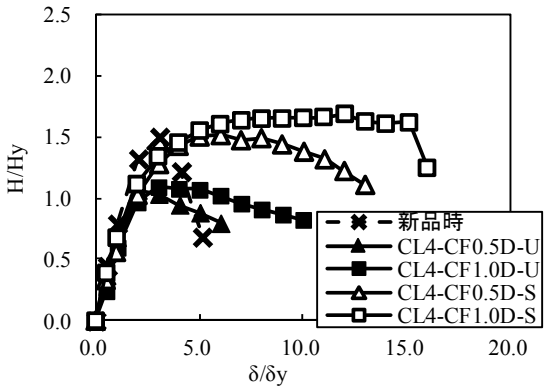
図-2 より，全ての損傷レベルにおいて，S シリーズの方が最大水平荷重が高く，さらに，大きな変位で最大水平荷重に到達する結果となった．なお，S シリーズでは最大水平荷重後に荷重が急激に低下しているケースが見られた．これは損傷形態による影響で，コンクリート充填部直上の鋼断面部で座屈が発生したためである．コンクリート充填部では損傷が進行せず，充填部直上の鋼断面部に損傷が集中した場合，早い段階で荷重が低下が見られた．また，充填部で損傷が進行した後に充填部直上で損傷が生じた場合，より大変位レベルにおいて急激な荷重の低下が見られた．一方，U シリーズについては全て充填部のみで損傷が進行した．



(a) 損傷レベル 2



(b) 損傷レベル 3



(c) 損傷レベル 4

図-2 包絡線

4. 結論

1) 損傷した鋼製橋脚にコンクリート充填修復を行う際，修復後に生じる損傷は新品時と同様の箇所(コンクリート充填部)で生じるのが望ましい．
2) 比較的損傷の小さい損傷レベル 2 では，ダイアフラムの有無に関わらず，コンクリート充填修復では必要以上に耐力が増加してしまうことが考えられる．
3) 損傷レベル 3 では，ダイアフラム無しでは充填高さを 1.0D とすることで十分な耐力の回復と変形性能の向上が期待できる．ダイアフラム有りでは必要以上に耐力が増加してしまうことが考えられる．
4) 損傷レベル 4 では，ダイアフラム無しでは，1.0D までの充填高さでは十分な耐力の回復は期待できない．

謝辞：本研究は一般社団法人日本橋梁建設協会の研究助成および愛知工業大学耐震実験センター研究助成金を得た．ここに謝意を表する．

参考文献

1) 尾松大道，鈴木森晶，青木徹彦：損傷した矩形断面鋼製橋脚の修復後の耐震性能に関する研究，構造工学論文集，Vol. 52A，pp. 445-453，2006.3.
2) 嶋口儀之，鈴木森晶，太田樹，青木徹彦：局部座屈が生じた円形断面鋼製橋脚の修復方法に関する研究，構造工学論文集，Vol. 58A，pp. 277-289，2012.3.
3) 嶋口儀之，鈴木森晶，太田樹，青木徹彦：損傷レベルが異なる矩形断面鋼製橋脚のコンクリート充填修復と耐震性能に関する研究，構造工学論文集，Vol. 59A，pp. 484-492，2013. 3.
4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説　V 耐震設計編，2002.3.