

[耐震性向上技術]

土木構造物の耐震補強技術

田中 浩 一
大内 一

1. はじめに

阪神・淡路大震災において、橋梁構造物がこれまで例をみない大被害を受けた。特に耐震部材である橋脚に被害は集中している。これらの橋脚の多くは、旧基準で設計されており、帯鉄筋が少なくせん断破壊したか、もしくは十分な粘りを発揮せず、小変形域で曲げ破壊したことに特徴がある。また段落し主筋の定着が不十分であるため同部で曲げ、または曲げせん断破壊したものも数多くみられた。

実務対応が求められる鉄道関係では、1995年7月運輸省鉄道局より「既存の鉄道構造物に係る当面の措置について」の通達が出された。また道路関係では1995年2月運輸省道路局より「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」が通達された。これらの動きに呼応して、各種事業所では既存不適格構造物の耐震補強が進められていることは周知のとおりである。

このような背景のもと、各事業所に参考にして頂く目的で、主としてコンクリート系構造物の耐震補強技術の現状を概説するとともに、新技術についても紹介するものである。

2. 耐震補強技術の現状

関係省庁の通達に呼応し、補強水準として今回の地震

観測記録のうち最大級を設計地震動に用いても耐えられるよう各復旧仕様¹⁾で定められつつある。したがって補強された構造物は阪神大震災級の地震入力に対してもぜい性的な破壊を防止して、ねばり強い構造にする必要がある。橋脚などの柱部材を対象にした代表的な補強工法をFig.1に示す。ここに炭素繊維補強については別紙で紹介されており本稿から省いている。RC巻立てや鋼板巻立ては、通常せん断補強や靱性補強に用いられる。基礎でアンカー筋増設などを用い、橋脚基部の曲げ耐力補強を行うことも可能である。橋脚の抵抗性能を増大させることなく、免震支承などの採用により入力を低減するのも補強工法の一つと言える。残留変形や地震時変形が問題になる場合、剛性補強も必要で耐震壁や耐震ブレースの増設が考えられる。また塑性エネルギー吸収を期待した減衰ブレースなどの高度補強技術も考えられる。壁式橋脚のような断面縦横比の大きい橋脚においては、最外縁に配置した鋼板や帯鉄筋のみではコンクリートを拘束する効果が小さいため、壁内を貫通させたPC鋼棒や鉄筋を配置して拘束力を幅全体に伝達させるのが一般的である。この場合、既存コンクリートの貫通孔施工が必要となり鉄筋損傷への配慮も必要となる。楕円型の鋼板を使用し拘束効果を高めてPC鋼棒不要とする方法も考えられるが、この場合には一般に断面が大きくなり、施工空間の制約に注意する必要がある。鋼製橋脚の補強には橋脚内部に

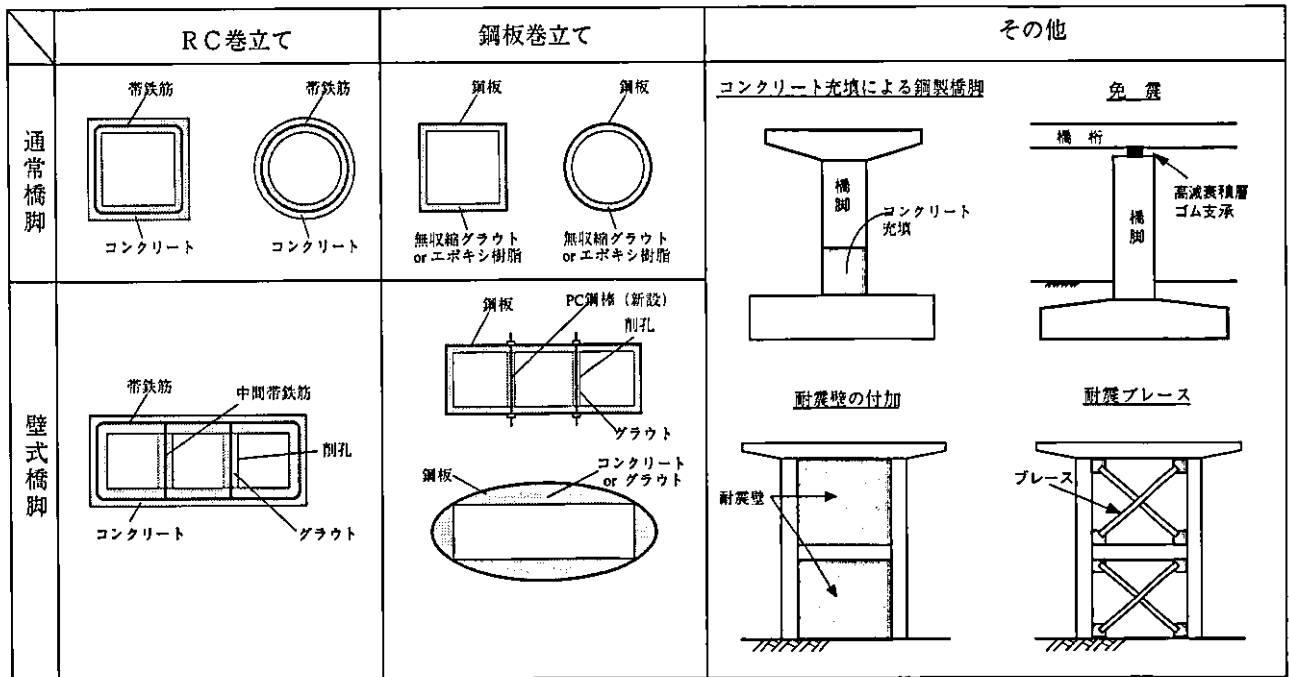


Fig. 1 各種耐震補強工法
Retrofitting Method Dependent on Structures

コンクリートを充填することが検討されている。

変形性能のみでは抵抗できない場合には、変形性能の向上と曲げ耐力の増加の両者を期待する補強工法をとる。Fig.2に示すように、エポキシ樹脂や無収縮モルタルなどにより鋼板と柱を一体化させるとともに、アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させた構造とし、橋脚基部の耐力の増加を図っている。主筋段落し部の補強はRC巻立ての場合には主筋増設、鋼板巻立ての場合は一体化

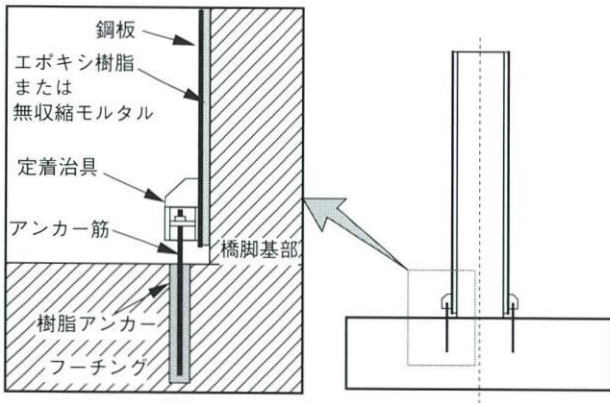


Fig. 2 橋脚基部の曲げ補強
Strengthening Method for Column Base

した鋼板により強度向上を図っている。柱の耐力を増加させた場合フーチングや杭の補強を検討する必要がある。また降伏せん断力も増加するので、その照査も行う必要がある。

橋脚耐力を向上させた補強事例として、新交通システムでの復旧工事を紹介する。Fig.3に示すように、橋脚自体を鋼板により巻立て、柱と鋼板を一体化させるため鋼板にジベルを溶接し、間詰コンクリートを打設して段落し部を補強している。またフーチングに定着されたアンカー筋と鋼板とをジベルと根巻きコンクリートにより接合し、基部耐力の増加を図っている。工事完了後の様子をPhoto 1に示す。

また地下鉄駅舎においてRC中柱の補強にも鋼板巻立てが採用されている。これはFig.4に示すように被災したRC断面にH形鋼を沿わせて配置し、上下をケミカルアンカーにて定着させる。それを取り囲むように鉄板で巻立てて流動化コンクリートで充填している。なお、鋼板によるコンクリートの拘束が入りにくい短辺方向にはPC鋼棒を貫通させている。補強後のRC中柱の様子を、Photo 2に示す。

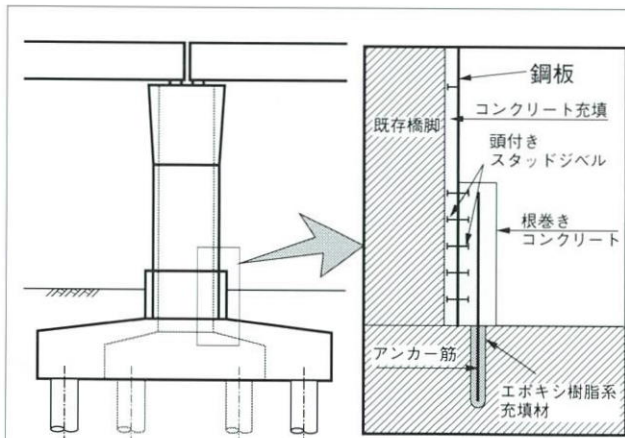


Fig. 3 新交通システム復旧工事
Detail of Column Base Strengthening



Photo 1 新交通システム復旧状況
General View of Retrofit Work of New Transit Line

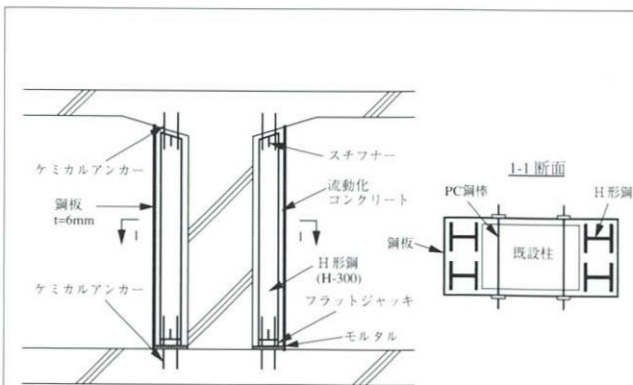


Fig. 4 地下鉄中柱復旧工事
Retrofit Detail of Middle Column at Subway Station

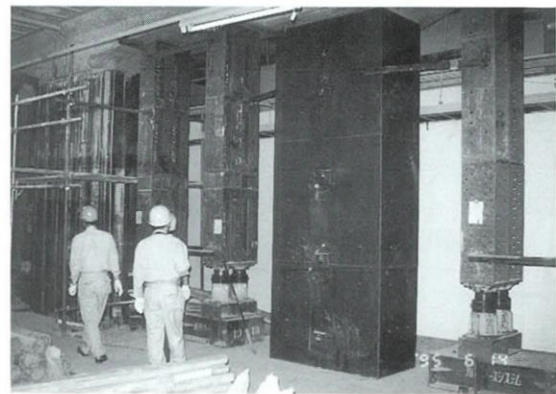


Photo 2 地下鉄中柱復旧状況
General View of Middle Column Retrofit Work at Subway Station

3. 今後の耐震補強技術

以下、今後期待されるいくつかの補強技術について紹介する。

3.1 鋼製セグメントによる壁式橋脚補強

3.1.1 特徴 壁式橋脚の補強工法として開発した鋼製セグメントによる補強工法を Fig.5 に示す。

この工法の利点を以下に示す。

1) 曲面状鋼板と PC を用いて効果的にコンクリートを拘束する。その結果、削孔本数を低減でき工期の短縮を図ることができるとともに、既存橋脚の主筋に損傷を軽減できる。

2) 鋼製セグメント内面とコンクリートの付着を意図的に切り、横拘束のみを伝達する。その結果損傷領域の局所化を防ぐ。

3) セグメント内側のコンクリートに鉄筋を配置することで段落し部の補強が可能である。

4) セグメントの組合せによりすべての橋脚に自由に配置することができ、セグメント自体が型枠として使えるので工期が短縮できる。

この補強効果を確認するため、段落し部を含む橋脚上部はせん断補強を行い、基部は靱性補強した試験体の繰返し水平加力試験を行った。ここでは、この補強効果を実験結果とともに紹介する。

3.1.2 実験概要 帯鉄筋のない試験体に対して補強の効果を確認する実験である。せん断補強するため PC 鋼棒

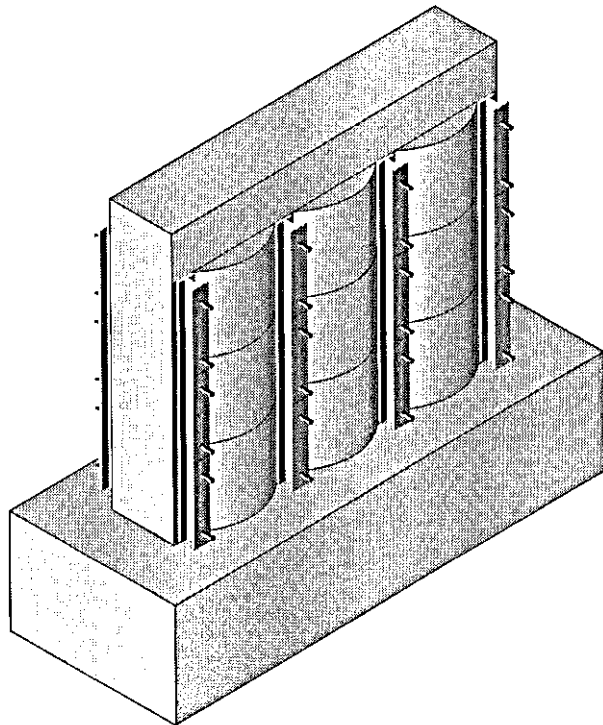


Fig. 5 鋼製セグメントによる壁式橋脚補強
Bridge Pier Retrofitted
by Spherical Steel Segment

を帯鉄筋の代わりに配置したが、基部および一般部の帯筋量は強度比を考慮して通常帯筋 (SD345) に換算してそれぞれ 0.29%, 0.19% と通常の鋼板補強工法に比べて少なかった。本工法ではコンクリートを拘束する効果が平らな鋼板を用いた場合よりも期待できるので、柱高さ方向、水平方向に PC 鋼棒の間隔を大きくできることを確認するためである。また PC 鋼棒反力が直接コンクリートに伝達せず、セグメントを介して増設部コンクリートに伝達させるため、鋼製セグメント端部と既設コンクリートとの間には硬質ゴムを配置してある。段落し部の曲げ補強はセグメント内部に配置した鉄筋で行うため、セグメント内部の新コンクリートと柱部との一体性を期待できるよう柱表面にチッピングを施してある。柱基部から 0.75D (D: 断面高さ) の区間には横拘束のみを伝達させるため新旧コンクリート間およびセグメント内表面にはテフロンシートを配置した。

3.1.3 実験結果 荷重-変位関係を Fig.6, Fig.7 に示す。図中に示す計算値は、基部または段落し部での降伏荷重を示す。

無補強試験体では負荷荷 $1 \delta_y$ 到達前にせん断破壊をした。一方本工法により補強した試験体はせん断破壊が防止され、 $5 \delta_y$ まで耐力を保持していた。 $+6 \delta_y$ 以降耐力の低下がみられる。これは段落し部の新旧コンクリート間

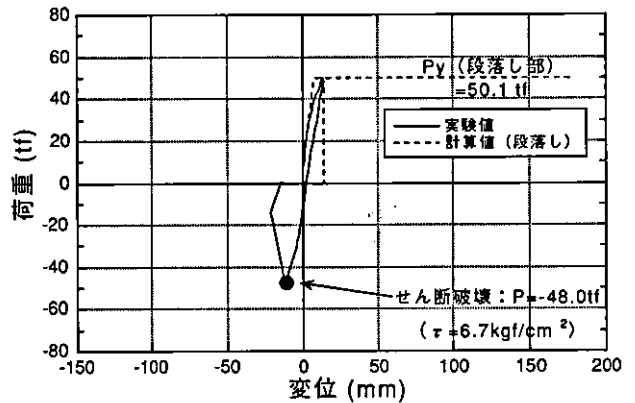


Fig. 6 荷重-変位関係 (無補強)
Load-Displacement Relationship
(Unretrofitted Specimen)

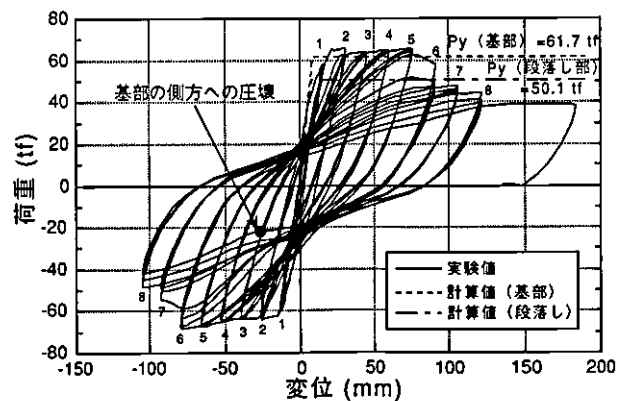


Fig. 7 荷重-変位関係 (補強)
Load-Displacement Relationship
(Retrofitted Specimen)

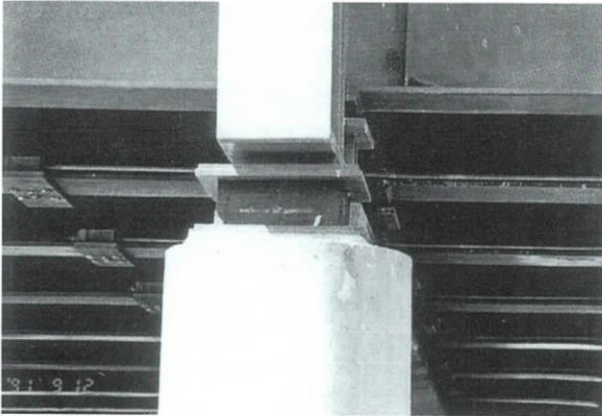


Photo3 免震支承による耐震補強
Retrofitting with High Damping Rubber Bearing

にずれが生じたため増設鉄筋の引張り負担が減少したためである。このような滑りはあらかじめ段落し部のPC鋼棒を緊張することにより防ぐことができる。耐力が低下してもセグメントに囲まれたコア部分はなお健全であり、それ以後も耐力を保持している。

3.2 耐震壁および耐震ブレースによる補強

橋脚の強度および剛性を増加させる補強工法として耐震壁や耐震ブレースの増設が挙げられる。適用の対象としてFig.1に示したようなラーメン高架橋が挙げられる。柱に囲まれた部分に耐震壁や耐震ブレースを施工し、高架橋全体の強度および剛性を増加させて地震時の変位を低減できる。しかしながら、地震時に負担する水平力が大きくなるため基礎の補強を前提に、スペースが許せば本工法は有効である。

3.3 免震および高減衰による耐震補強

地震による揺れを、構造物の強度やエネルギーで塑性抵抗させる補強技術と設計思想を異にするのが免震や高減衰ダンパーによる耐震補強である。すなわち柱を長周期化させて作用力の低減や、増設部材に高減衰を期待するものである。

Photo 3は高減衰積層ゴム支承を用いた例である。これは水平方向に柔らかく橋桁を支持して地震時に生じた地盤の振動を柔らかく吸収させて地震時の作用力を低減している。比較的ゴム支承に交換する作業が容易な道路橋などへの一層の適用が期待される。

また、高減衰ダンパーとしてY型ブレース・ダンパーを紹介する。Fig.8やPhoto 4に示すように、梁部材とブレースの間に履歴吸収を期待する補助材(リンク)を入れる。Y字形または逆Y字形配置が可能である。このリンクに地震時のエネルギーを集中させて梁や柱の損傷を低減させるとともに、リンクの復元力特性により高減衰を付加し揺れを低減できる。また耐力の増加や剛性を自由に調節することができる。また地震後既存の柱や梁の損傷



Photo 4 Y形ブレースによる耐震補強
Retrofitting with High Damping Brace

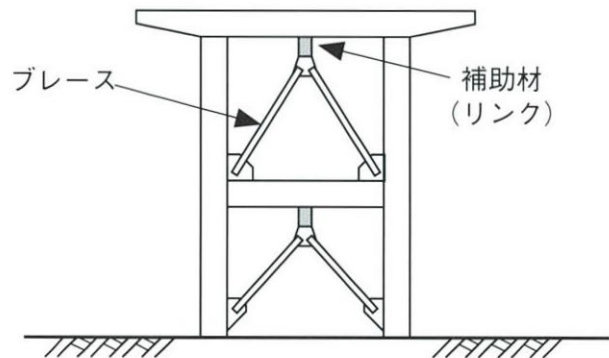


Fig. 8 Y形ブレースによる補強適用例
RC Structure Retrofitted by High Damping Braces

が小さいためリンクのみを交換するだけで耐震性能を復元できることなどの利点を有する。

4. おわりに

各種補強工法を紹介したが、今後の課題として次のようなものがある。

- 1) 鋼板補強やコンクリート巻立て工法などの靱性補強で、塑性エネルギー吸収領域を大きくできる効果的な補強工法を模索する必要がある。
- 2) レベル2地震のような大地震に対する設計ではエネルギー一定則を前提とした簡易計算ではより大きな靱性能が一般に要求される。経済的な補強設計を行うためにも、構造物の非線形挙動を的確に考慮した解析法を充実させる必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の適用に関する参考資料(案)，(1995.6)
- 2) 鉄道総合技術研究所：新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料，(1996.1)