

1. はじめに

兵庫県南部地震クラスの大地震に対する既設RC橋脚の耐震補強工法(じん性指向型)の適用性を把握することを目的とし、橋脚基部で曲げ破壊が先行するタイプとせん断破壊が先行するタイプのモデル橋脚を設定して、地震時保有水平耐力の照査と非線形動的解析により耐荷性能とじん性能を検討した。

2. 検討方法

(1)検討対象モデル:昭和39年の鋼道路橋示方書により設計された標準的な高架橋の既設RC橋脚(健全なもの)を検討対象とする。形状寸法、配筋および使用材料を図-1に示す。橋脚の配筋は基部でせん断破壊が先行するものと曲げ破壊が先行するものとの2タイプを設定した。

(2)補強工法:RC橋脚の耐震性能を向上させる手法には、RC巻立て工法のように断面強度を高くする方法(強度指向型補強)と鋼板・炭素繊維接着工法のように補強材を接着し変形能力(じん性能)を向上させる方法(じん性指向型補強)がある。RC巻立て工法は応答加速度の増大と重量増の影響がある。鋼板・炭素繊維接着工法は水平変位は大きくなるが剛性と重量増加が少ないため検討対象とした。

(3)補強方法(表-1参照):橋脚基部の曲げ破壊が先行するタイプについては、①補強材を基礎に定着することによって曲げ耐力を向上させる方法と、②補強材による拘束効果によって内部コンクリートの変形能力を向上させる方法の2種類の補強方法について比較した。また、せん断破壊が先行するタイプについては、①補強材によりせん断耐力のみを高める方法と、②曲げ耐力も同時に高める方法の2種類について検討した。

(4)検討ケース:図-1に示したモデル橋脚について、補強工法の種類(鋼板接着・炭素繊維接着)および補強方法(補強材の基部定着、スリット化)を検討要因として検討ケースを設定した(表-1参照)。

(5)検討手順:補強前について地震時保有水平耐力の照査を行い補強量を算定し、補強後の構造について耐荷力とじん性能を確認した。また、鋼板接着による補強橋脚に対して神戸海洋気象台の地震波を用いた非線形動的解析を行い耐荷力と最大水平量を確認した。

(6)解析方法:①地震時保有水平耐力の基本的な照査方法は、現行の道路橋示方書・耐震設計編¹⁾に準じた。橋脚表面の補強材による内部コンクリートの拘束効果は建設省道路局の復旧仕様²⁾による応力~ひずみ曲線を用いて考慮した。また、断面の曲げモーメント~曲率関係は、コンクリート・内部鉄筋・表面補強材(鋼板、炭素繊維)の応力~ひずみ関係を考慮できる断面分割法により求めた。②動的解析は、多質点系の解析モデルに、神戸海洋気象台の観測波形・NS成分(最大818gal、地表面の硬質な洪積層)を入力して時刻歴解析を行った。計算はプログラムDYNAを用い、計算時間のきざみは0.02secを1000分割とした。なお、橋脚の材料非線形性はtri-Linearモデルで考慮し、減衰定数は上部工=2%・RC橋脚=5%・基礎=20%とした。

3. 検討結果および考察

表-1に、補強前後の地震時保有水平耐力の照査結果と鋼板接着補強に対する動的解析結果を示す。

①橋脚基部の曲げ破壊が先行するタイプ

・鋼板接着または炭素繊維接着によって、補強前のじん性率($\mu=2.87$)が大きく改善される。鋼板接着工法の場合 $\mu=5.97, 7.42$ 、炭素繊維接着工法の場合 $\mu=5.43, 9.29$ となっている。
・鋼板を基礎に定着せず水平方向にスリットを入れた場合は、基礎に定着した場合に対して、等価水平震度および動的水平力が減少しており、じん性率が増加している。

・鋼板を基礎に定着せず水平方向にスリットを入れた補強方法の動的解析結果では、耐荷性能が確保されており、最大水平変位量も鋼板を定着した場合と同程度となっている。

②橋脚基部のせん断破壊が先行するタイプ

・鋼板または炭素繊維接着によって、曲げ破壊先行型に移行できる。高さ方向に連続接着した鋼板で $\mu=5.19$ 、水平方向にスリット化した炭素繊維接着で $\mu=9.29$ となっている。

4. まとめ

従来の鋼板接着による曲げ補強工法では鋼板は基礎に定着されていたが、鋼板を基礎に定着せず水平方向に接着することによって、じん性能が向上し作用力は低減する。また、炭素繊維補強工法も鋼板接着工法と同様に有効な工法であることが確認された。なお、解析検討のみでは信頼性に乏しい面があるので、今後は実験的確認により本補強工法の可能性を確認していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1)日本道路協会:道路橋示方書V・耐震設計編、平成2年3月
- 2)建設省道路局: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、平成7年2月

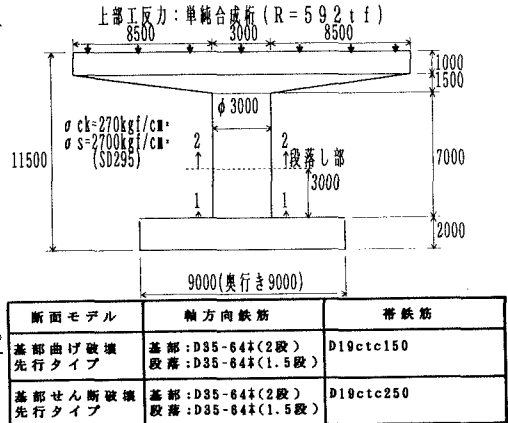
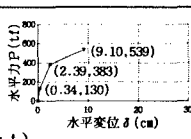
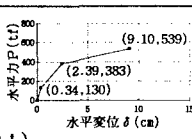
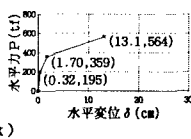


図-1 モデル橋脚

表-1 解析結果

	橋脚基部の曲げ破壊が先行するタイプ	橋脚基部のせん断破壊が先行するタイプ
補強方法	<p>【従来の補強方法】</p>  <p>せん断補強鋼板(又は炭素繊維)</p> <p>柱幅D</p> <p>既設の帯鉄筋</p> <p>既設の主鉄筋</p> <p>段落し部</p> <p>*補強材を柱の高さ方向に接着・基礎へ定着して断面の耐力を向上。</p> <p>【じん性向上型補強】</p> <p>*水平方向にスリットを設け、補強材によりコンクリートの拘束効果を向上</p>	<p>【従来の補強方法】</p>  <p>せん断補強鋼板</p> <p>柱幅D</p> <p>既設の帯鉄筋</p> <p>既設の主鉄筋</p> <p>段落し部</p> <p>炭素繊維</p> <p>0.5D</p> <p>*補強鋼板は、柱基部から0.5D(D:柱幅)以上が曲げにも抵抗する。</p> <p>*橋脚は、全体を巻立て補強する。</p> <p>*せん断力に対して既設部(コンクリート、帯鉄筋)および補強部材(鋼板又は炭素繊維)で抵抗する。</p>
補強前照査結果	<p>$P_u = 534$ (tf)</p> <p>$P_s = 541$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 2.87$</p> <p>$Khe = 0.46$</p> <p>$Khe \cdot W = 614$ (tf)</p> <p>$P_a = 487$ (tf) < $Khe \cdot W$ (out)</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(9.10, 539)</p> <p>(2.39, 383)</p> <p>(0.34, 130)</p>	<p>$P_u = 539$ (tf)</p> <p>$P_s = 439$ (tf)</p> <p>判定→せん断破壊先行</p> <p>$\mu = 1.0$</p> <p>$Khe = 1.0$</p> <p>$Khe \cdot W = 1537$ (tf)</p> <p>$P_a = 439$ (tf) < $Khe \cdot W$ (out)</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(9.10, 539)</p> <p>(2.39, 383)</p> <p>(0.34, 130)</p>
じん性向上型補強	<p>鋼板接着補強</p> <p>$P_u = 569$ (tf)</p> <p>$P_s = 1216$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 7.42$</p> <p>$Khe = 0.27$</p> <p>$Khe \cdot W = 361$ (tf)</p> <p>$P_a = 504$ (tf) > $Khe \cdot W$ (ok)</p> <p>【動的解析による照査結果】</p> <p>柱基部; $M = 4720$ (tf·m) [1340gal]</p> <p>水平力 $P_{max} = 479$ (tf) < P_a (ok)</p> <p>柱天端部変形量 $\delta = 19$cm</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(25.5, 569)</p> <p>(2.40, 375)</p> <p>(0.34, 130)</p>	<p>鋼板接着補強</p> <p>$P_u = 567$ (tf)</p> <p>$P_s = 1111$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 5.19$</p> <p>$Khe = 0.33$</p> <p>$Khe \cdot W = 441$ (tf)</p> <p>$P_a = 503$ (tf) > $Khe \cdot W$ (ok)</p> <p>【動的解析による照査結果】</p> <p>柱基部; $M = 4832$ (tf·m) [1310gal]</p> <p>水平力 $P_{max} = 491$ (tf) < P_a (ok)</p> <p>柱天端部変形量 $\delta = 18$cm</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(14.6, 567)</p> <p>(2.01, 375)</p> <p>(0.32, 130)</p>
	炭素繊維接着補強	<p>炭素繊維接着補強</p> <p>$P_u = 587$ (tf)</p> <p>$P_s = 777$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 9.29$</p> <p>$Khe = 0.24$</p> <p>$Khe \cdot W = 317$ (tf)</p> <p>$P_a = 509$ (tf) > $Khe \cdot W$ (ok)</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(22.8, 586)</p> <p>(1.70, 353)</p> <p>(0.32, 195)</p>
従来型補強	<p>鋼板接着補強</p> <p>$P_u = 728$ (tf)</p> <p>$P_s = 1216$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 5.97$</p> <p>$Khe = 0.30$</p> <p>$Khe \cdot W = 401$ (tf)</p> <p>$P_a = 647$ (tf) > $Khe \cdot W$ (ok)</p> <p>【動的解析による照査結果】</p> <p>柱基部; $M = 6179$ (tf·m) [1480gal]</p> <p>水平力 $P_{max} = 627$ (tf) < P_a (ok)</p> <p>柱天端部変形量 $\delta = 19$cm</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(21.6, 728)</p> <p>(2.55, 486)</p> <p>(0.33, 138)</p>	<p>【凡例】</p> <p>P_u: 曲げ耐力</p> <p>P_s: せん断耐力</p> <p>μ: じん性率</p> <p>Khe: 等価水平剛度</p> <p>$Khe \cdot W$: 慣性力</p> <p>P_a: 地震時保有水平耐力</p>
	炭素繊維接着補強	<p>炭素繊維接着補強</p> <p>$P_u = 564$ (tf)</p> <p>$P_s = 585$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 5.43$</p> <p>$Khe = 0.32$</p> <p>$Khe \cdot W = 424$ (tf)</p> <p>$P_a = 496$ (tf) > $Khe \cdot W$ (ok)</p>  <p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p> <p>(13.1, 564)</p> <p>(1.70, 359)</p> <p>(0.32, 195)</p>