

高架橋の耐震性能

破壊形態について

高知高専 土木工学科 正会員○吉川 正昭, 竹内 光生

1 はじめに

兵庫県南部地震では、高速道路、鉄道高架橋の倒壊など地震時に想定されるあらゆる被害が大規模かつ広範囲に及んだ。1年前にアメリカで最大の地震災害をもたらした都市直下型の「ノースリッジ」地震による被害と比較しながら、高架橋脚の破壊形態を推定し、高架橋の耐震性能について考察を加える。

2 ノースリッジ地震

兵庫県南部地震の1年前の同日午前4時31分に「ノースリッジ」地震はロサンジェルス北西約30kmのSan Fernand Valleyの「ノースリッジ」直下に発生した。約200ヶ所の高密度に配置された強震観測ネットワークで震央の南約5kmのTarzanaでは南北方向に1.8G、上下方向で、1.2Gの最大加速度が記録された。1971年のSan Fernand地震時、被災したSylmerの6階RC造Olive View Medical Center（震央の北東15km）は1978年に鋼板耐震壁

（1,2階はRC造耐震壁）を採用し、同階建てで再建された。1階床と屋外自由地盤駐車場の加速度時刻歴観測波形と応答

スペクトルから建物1階の方が地盤地表より小さく、動的相互作用¹⁾より有効入力が小さくなることが実証された。フリーウェイの被害のうち、2/3が1971年のSan Fernand地震前に建設されていた。旧耐震設計規準（水平震度0.06）では上部工の自重で決まり地震力は無視されるため、RC橋脚が日本に比べて細く、主筋を多く入れて補強をはかっている。帯筋が極めて少なく、水平方向の揺れに強度が足りず、橋脚の中央がはらむかせん断され、自重に耐えられずベタソリになっていた。一方、1971年以降、水平震度が約2.5倍の0.16まで引き上げられたため、被害が減少した。図-1に示すように八角形RC橋脚がせん断破壊するか、せん断破壊により圧壊していた。主筋35～45mmで89mm²程度、帯筋15.9mmが密に配筋されていた。斜橋主桁が面内回転し、橋軸直角方向に橋脚のフリの付け根で塑性ヒンジを形成し、せん断破壊を生じ落橋したと考えられ、斜橋や曲線橋の耐震性に問題を残した。

3 兵庫県南部地震

(1) 非定常パワースペクトル²⁾による水平、上下動の特性と応答スペクトルの比較

神戸海洋気象台での観測波形を用いて、波動の伝播特性を求めて図-2に示す。NS方向とUD方向がほぼ同時刻に同じ卓越振動数の最大値が生じていること、0.5Hz以下の表面波成分がなく実体波のみで、1, 2, 3次の卓越振動数がほぼ同時に到着していることなど内陸型地震の特徴を示すことがわかる。神戸海洋気象台（第1種地盤）、阪高5号沿岸線の東神戸大橋近傍地盤（第3種地盤）で得られた加速度応答スペクトルを図-3に示す。固有周期0.2秒～約1秒

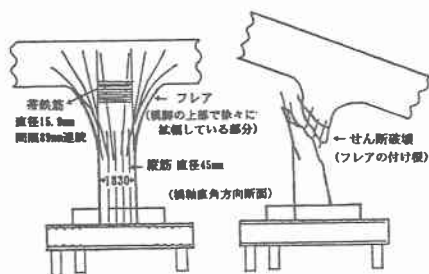


図-1 ミッション通りとゴシック通りの交差点に跨ぐ高層橋脚の破壊(118号)

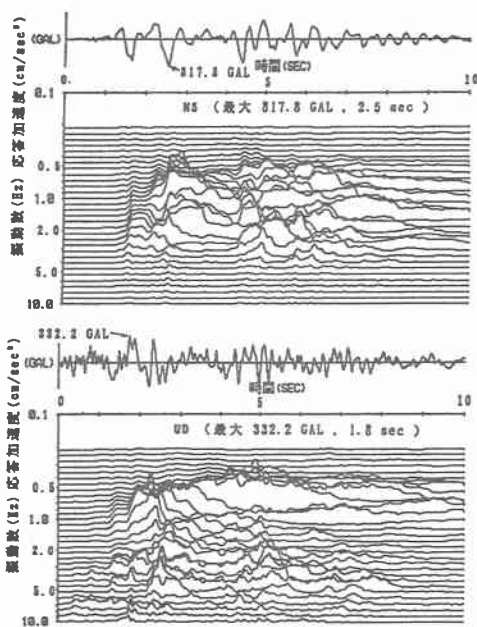


図-2 非定常パワー・スペクトル (神戸 J.W.A.)

の範囲では神戸海洋気象台とノスリッジ地震の応答スペクトルが他に比べて大きいことがわかる。固有周期が2秒の長周期になると、軟弱地盤の東神戸大橋近傍の地表が他に比べて大きくなることがわかる。構造物が地震で損傷すると長周期化するため、周辺の短周期成分を有する家屋に影響を与えないのに対し、長周期成分を有する橋梁に大きな影響を与えたと考える。

(2) 高架橋脚の被害例

宝塚、伊丹、尼崎、西宮、芦屋、神戸の各市を通る国道（2, 43, 171, 176号）、高速自動車道（名神、中国）、阪高（3号神戸、5号港岸）の被災状況を適用された耐震設計標準と被災度に準じた調査結果³⁾は次のようになる。3396橋脚（RC造3041、鋼製355）のうち、全体の81%が1964年の鋼道路橋設計方書によるか、それ以前に設計されていた。主鉄筋の「段落しの考え方」が改訂された1980年の道示改訂以降の橋脚の被害は国道176号に5橋脚、阪高5号港岸線に345橋脚だけである。

RC橋脚の破壊形態は図-4のように4タイプに分かれる。曲げ破壊は図-5のように橋脚上部に地震力が作用し、橋脚の抗弯モーメントより大きな曲げモーメントが作用すると生じる破壊である。慣性力による曲げモーメントの他に、上部のT型張出し部の動揺運動による回転慣性モーメントも考慮する必要がある。段落し部の鉄筋の降伏も破壊の1タイプとして考えられるが、被害の中には図-4からわかるように段落し部で崩壊していないものもある。曲げモーメントが最大になる橋脚部で破壊されることが予測されるが、橋脚により、各断面で力学的特性が違うため、橋脚の中間部で破壊する場合もあると考えられる。せん断耐力が曲げ変形の耐力より小さく背の低いとせん断耐力による破壊が生じる。せん断破壊は曲げ破壊よりも脆性的で急激な破壊になる⁴⁾ため、これを許してはならないと考える。

4 まとめ

T型単柱橋脚は使用空間や美観などから、リタダンシーがないにもかかわらず安易に採用されてきた。この橋脚の場合は想定以上の外力が作用すると並進と動揺振動を繰り返すため、地震のエネルギーを吸収しながら破壊が緩やかに進行することが望まれる。まず、桁が落下しないように落橋防止装置が十分機能を発揮するように改良する。次に、ある程度の被害に抑え急激に崩壊に至るせん断破壊を生じないようにせん断補強筋に工夫をする。また、脆性的な破壊である曲げ圧縮破壊の防止についても詳細な検討をする。

参考文献

- 1) 吉川正昭, 荒野政信, 土岐憲三, 佐藤忠信, 清野純史, 非線形動的相互作用を考慮したハイブリッド実験手法の開発, 土質工学会, pp. 231-238, 1989. 1
- 2) 吉川正昭, 荒野政信, 山田善一, 地盤-大型基礎の地震時挙動, 土と基礎, Vol. 36-4 (363), pp. 51-56, 1988
- 3) 兵庫県南部地震道路橋梁災害対策委員会, 兵庫県南部地震における道路橋の被害に関する調査報告, H. 7. 12
- 4) 伊津野和行, 橋梁の耐震, 土木学会関西支部, pp. 49-59, 1996. 12. 8

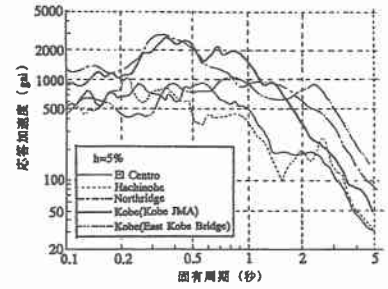


図-3 加速度応答スペクトル

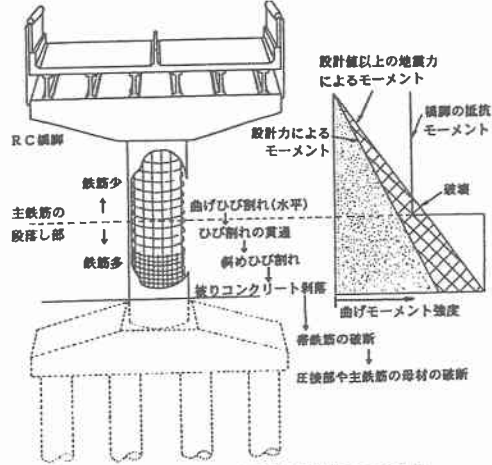


図-5 中間曲げせん断またはせん断破壊のメカニズム

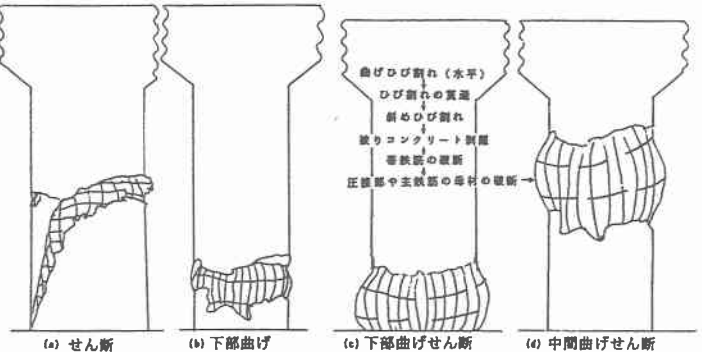


図-4 RC単柱式橋脚の破壊形態(阪高)