

UBRC 部材を用いた鉄道ラーメン高架橋の合理的耐震設計

家村 浩和¹・高橋 良和²・岩田 秀治³・曾我部 直樹⁴

¹フェロー 工博 京都大学教授 工学研究科土木システム工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 工修 京都大学助手 工学研究科土木システム工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

³正会員 ジェイアール東海コンサルタンツ (株) < JR 東海より出向中 > (〒 460-0008 名古屋市中区栄 2-5-1)

⁴学生員 工修 京都大学大学院博士課程 工学研究科土木システム工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

鉄道ラーメン高架橋は、小さな断面中に多数の鉄筋を配置する構造となっている。これは耐震設計において、L1 および L2 地震動を考慮しているものの、大きな L2 地震動により断面が決まってしまうことが多いためである。一方アンボンド部材を活用した RC 構造は、RC 構造の塑性域における荷重-変位関係の二次剛性を安定して発揮できる構造として開発された。この構造を鉄道ラーメン高架橋に適用すれば、鉄筋量を低減でき、かつ L1, L2 両地震動に対する設計を有効に活用した耐震設計を行うことが可能となると考えられる。本研究では、合理的な二段階耐震設計の実現に向けて、RC 構造および UBRC 構造の正負交番載荷実験を行い、UBRC 構造の有効性を明らかにする。

Key Words : UBRC pier, railway rigid frame pier, rational seismic design

1. はじめに

兵庫県南部地震における構造物などの被害を教訓として、次世代の新しい高耐震性能を有する構造の開発が要求されている。それは単に高い耐荷力、変形性能を持つものではなく、想定外地震動の作用や震災後の復旧性をも考慮した合理的な構造を意味する。

現状の耐震設計では、構造物の地震時の損傷を限定された箇所にとどめ、大きな靱性能を確保することで、耐震性能を満足させるようにしているが、これは結果的に構造部材の塑性ヒンジを許容し、地震後に残留変形が生じることになり、震災後の復旧には多大なコスト、労力、時間を必要とする場合もある。

著者らはアンボンド芯材を活用して、容易に RC 構造の塑性域における荷重-変位関係の正の二次剛性を付与することのできる構造を提案している²⁾³⁾。本研究は、鉄筋量の多い部材で構成される鉄道構造物の RC ラーメン高架橋の柱部材を想定して、アンボンド芯材入り RC 部材 (UBRC 部材) を適用し、その性能を検討するものである。

2. 二段階耐震設計法と鉄道標準

兵庫県南部地震以降の耐震設計の流れとして、二段階設計法が提案されている¹⁾。耐震性能の照査で考慮すべき地震動として、レベル I、レベル II の 2 種を考え、レベル I 地震動では原則として構造物はほぼ弾性域に止まり、レベル II 地震動に対しては降伏後の塑性変形・

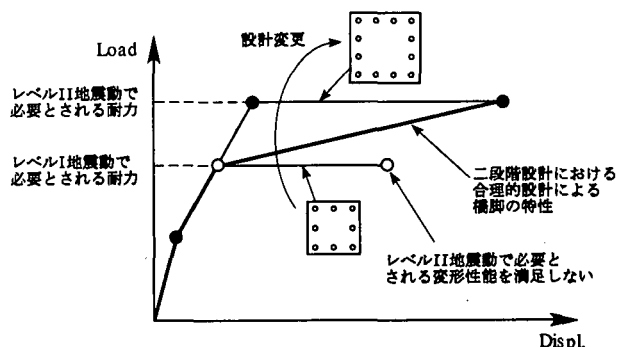


図-1 二段階設計における変位-復元力関係の概念図

エネルギー吸収により構造物の崩壊を免れるという考え方である。

鉄道構造物では、鉄道構造物等設計標準 (以下鉄道標準)⁴⁾の中で、L1, L2 地震動を設計想定地震動として、耐震設計が行われている。しかし実際には L2 地震動で期待される変形性能・耐力が大きいため、L1 地震動に対する設計では小さな断面で満足していたものが、L2 地震動に対応するために断面を大きくしたり鉄筋を増やすことが余儀なくされることが多い。もし構造物の二次剛性を有効に発揮することができるならば、L1・L2 地震動により要求される性能を結んだ変位-復元力特性を持つ構造物が構築でき、合理的な設計ができることとなる (図-1)。鉄道標準では、構造物の非線形モデルとしては、部材端部の曲げモーメント-部材角の関係として、テトラリニア型を採用している。従って設

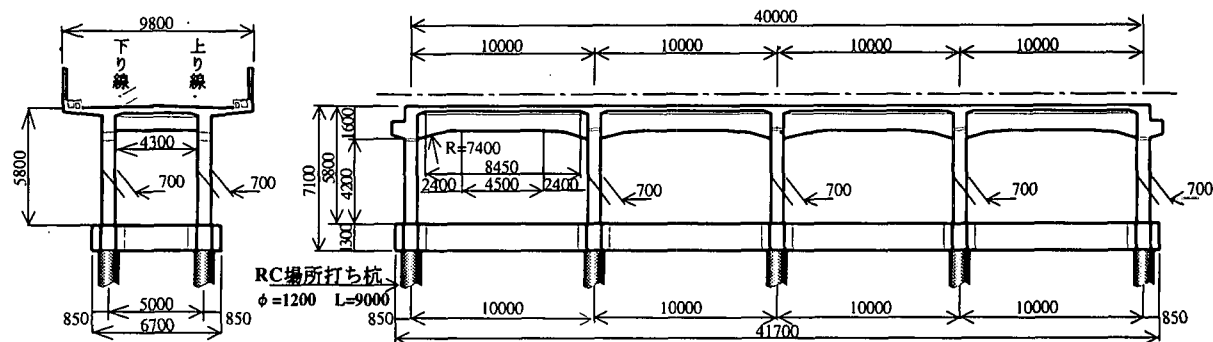


図-2 鉄道ラーメン高架橋一般図

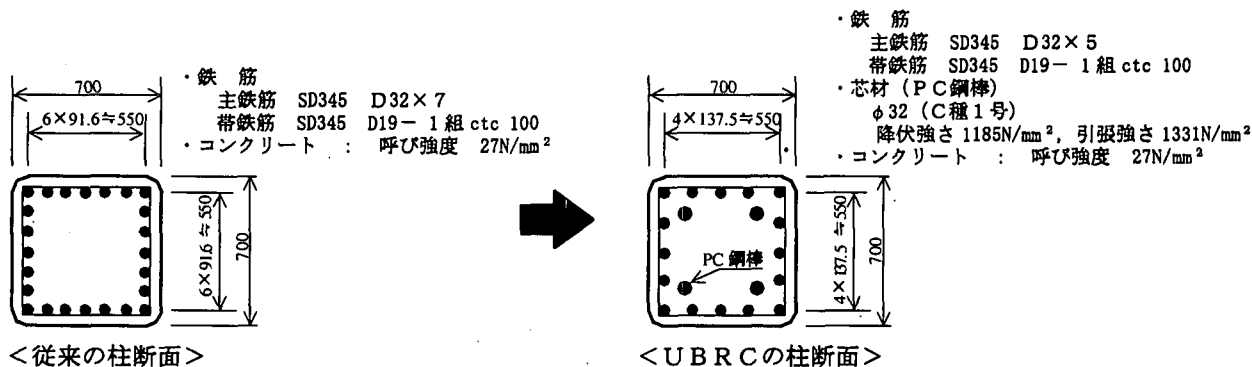


図-3 UBRC の部材断面

計手法のなかには部材降伏後から最大耐力までの非零の二次剛性が表現できるため、図-1 のような設計思想を反映しやすいと考えられる。

ただし、鉄道標準でいう二次剛性とは、複数の側方鉄筋が存在する断面の中で主鉄筋の初降伏点と最大耐力点を結ぶことにより現れる擬似的な二次剛性である。道路橋示方書⁵⁾では、その復元力特性を降伏後の二次剛性を0とする完全弾塑性型にモデル化している。実際には側方鉄筋の配置や鉄筋のひずみ硬化などにより二次剛性は現れるものの、様々な実験結果と照らし合わせても完全弾塑性モデルはRC橋脚の妥当な簡略モデルと言える。一方、UBRC橋脚では、安定して有効な二次剛性を発揮できる。従って、より積極的に二次剛性の利点を活かした設計が可能となると考えられる。

3. 対象とする鉄道ラーメン高架橋

本研究の対象鉄道ラーメン高架橋は鉄道ビームスラブ式であり、その一般図を図-2に示す。この高架橋の橋脚に対し、UBRC 部材の適用を試みる。

従来の RC 橋脚を用いた設計では、断面内に D32 を 24 本配置しなければならない。これより、道路橋に比べて小断面の中に非常に多くの鉄筋を配置しなければならないことが分かる。

一方、L1 地震動に対する耐震性能のみを考えると、主鉄筋は 16 本で良い。従って、UBRC 部材の設定とし

ては、1. 鉄筋のみでL1地震動に対する耐震性能Ⅰ（弾性域内）、2. 鉄筋+芯材でL2地震動における耐震性能Ⅱ、を満たすこととし、L1地震動により設計したRC断面を基本として、芯材を設置することでL2地震動に対応するものとした（図-3）。

芯材の強度評価などを加えて、UBRC 部材の断面を縮小することも可能であるが、今回は断面を縮小せず、施工性を重視して設計的に安全側の配筋を設定している。

4. 実験概要

(1) 実験供試体

a) RC 橋脚を想定した供試体

この供試体は、前述したラーメン高架橋を想定し、通常の RC 橋脚を想定し鉄道標準に従い設計された橋脚を供試体レベル（相似率 2.1875）に縮小したものである（図-4）。したがって、耐震性能については、上記の性能を満たしている。

b) UBRC 橋脚を想定した供試体

この供試体は、ラーメン高架橋に対する UBRC 橋脚の適用を想定したもので、RC 橋脚と同じく、相似率 2.1875 の縮小模型である。

主鉄筋の配置はL1地震動に対する耐震性能を満たすように設計された断面を用い、芯材の配置は最大耐力がRC構造よりも大きくなるように決定した。つまり、本構造は、L1地震動に対しては、主鉄筋により損傷が

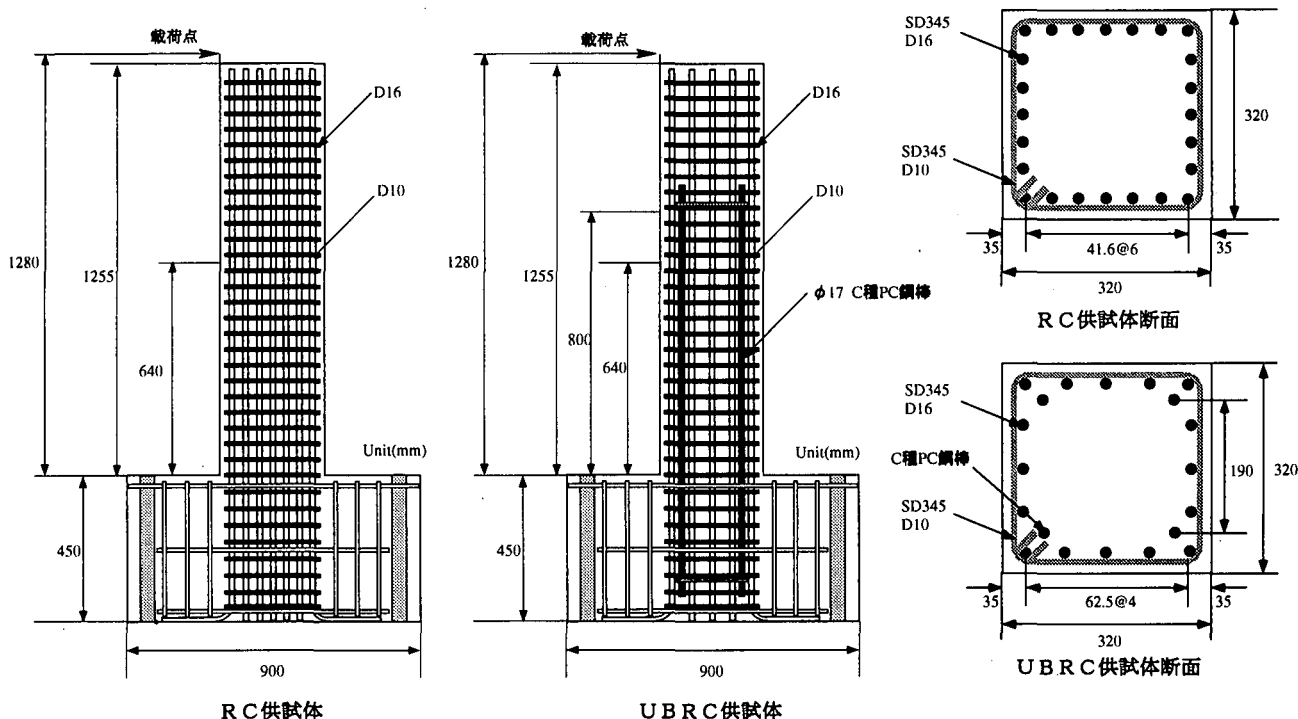


図-4 実験供試体

弾性域であることが確保され、L2 地震動に対しては、芯材による二次剛性により、L2 地震動が要求する耐力よりも大きくなるという性能を有している。

断面構成としては、RC 供試体に比べ軸方向鉄筋が、橋脚断面から 8 本分、少ない代わりに、 $\phi 17$ の C 種 PC 鋼棒が断面四隅に 4 本、配置されている。断面の大きさは、RC 供試体と同様である(図-4)。主鉄筋量が少なくなった分、配筋作業は非常に容易となる。また、芯材のアンボンド化手法については、アンボンドチューブにより芯材を被覆する方法により行った。

(2) 載荷方法

上記供試体に対し、正負交番載荷実験を行い、その基本的構造特性について検討した。載荷波形は、UBRC 供試体の最外縁鉄筋が降伏すると考えられる時の載荷点変位 0.006 m を単位とする同一振幅における繰り返し回数 3 回の振幅漸増型波形である。また、軸力については、想定する鉄道構造物(ラーメン橋脚柱部材)に作用する面圧を基に算定した 127.4 kN である。

5. 実験結果および考察

(1) 荷重-変位関係

図-5 に RC 供試体、UBRC 供試体の履歴曲線を示す。RC 供試体では、載荷点変位 0.041 m において最大耐力(約 183 kN)を示した後は、徐々に耐力が低下していく傾向が見られる。これに対し、UBRC 供試体では RC 供試体が最大耐力を示した載荷点変位時(0.041 m)では耐力は約 171 kN であるが、その後も芯材による安定した二次剛性により耐力は増加しつづけ、載荷点変

位が 0.077 m の時に最大耐力 186 kN を示し、L2 地震動に対する耐震性能を満たしている。また、UBRC 供試体の最外縁軸方向鉄筋の降伏は 2~3 サイクルの間に起こっており、その時の耐力は 97 kN~128 kN であった。L1 地震動に対する耐震性能を満たすために必要なこの供試体の降伏耐力が、92 kN であること(設計時に想定されていた値)を考えると降伏耐力についても設定した性能を満たしているといえる。以上より、今回設計された UBRC 供試体が L1 地震動に対しては損傷が弾性域であり、また、L2 地震動に対しては、芯材による二次剛性により最大耐力が L2 地震動に対する耐震性能を満たすことが分かる。

(2) 残留変位

残留変位を図-6 に示す。残留変位については、過去の実験結果にも見られたように、芯材を配置した UBRC 供試体の方が小さくなっている。一般に二次剛性を付加したということは、除荷剛性も大きくなるため、同じ耐力から除荷した場合には、残留変位は大きくなる。しかし実験結果のように、耐力が RC 供試体と同程度、若しくはそれより小さいにも関わらず残留変位が低減した理由としては、RC 供試体に比べ、残留変位増加の要因となる、軸方向鉄筋の量が少なかったためであると考えられる。

(3) 累積エネルギー吸収量

耐震性能の指標として良く用いられている累積履歴エネルギー量を図-7 に示す。累積履歴エネルギー量については、RC 供試体に比べ UBRC 供試体の方が小さく、エネルギー吸収性能は UBRC 供試体の方が低いこ

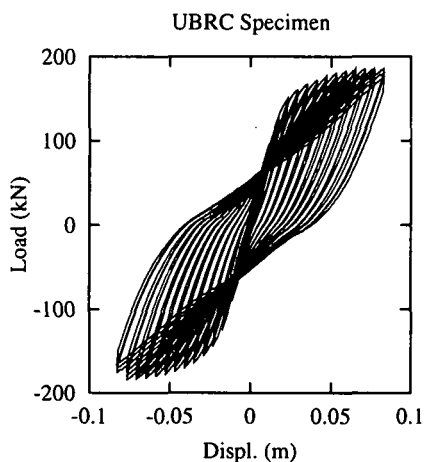
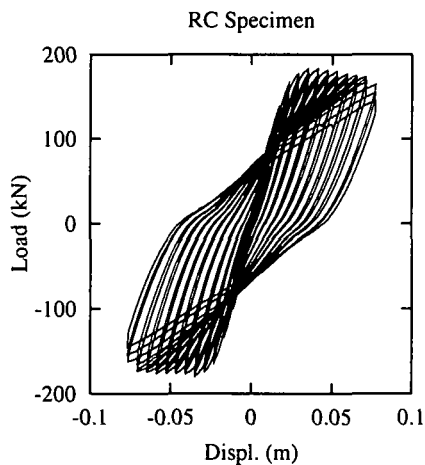


図-5 荷重-変位関係

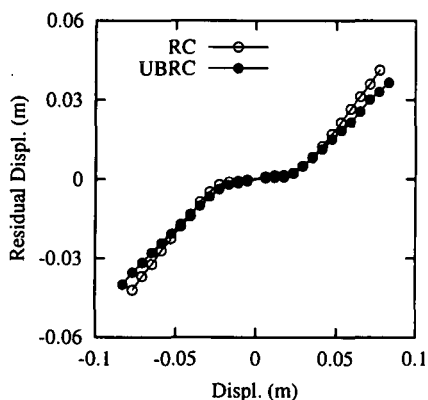


図-6 残留変位

とが分かる。この結果からは、UBRC 供試体の方が耐震性能が低いように思われるが、そうではない。履歴吸収エネルギーが大きいということは、すなわちそれだけ部材が塑性変形（損傷）していることを意味する。塑性変形が小さくても同程度の耐震性能を容易に実現できれば、地震後の補修を考えてみても有利である。UBRC 構造は RC 構造の中に芯材は配置するだけで実現できる構造であり、RC 供試体に比べて累積エネルギー吸収量が小さくとも荷重-変位関係が同程度以上の性能を示している UBRC 供試体は、非常に耐震性に富んだ構造

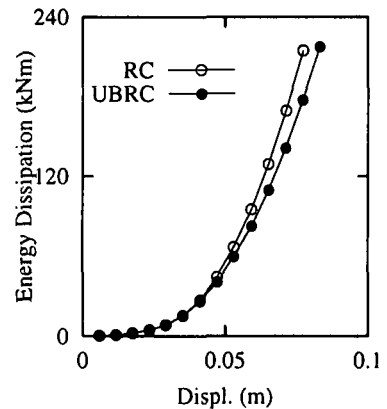


図-7 累積エネルギー吸収量

であることを示している。

6. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

1. UBRC 構造を用いた鉄道ラーメン高架橋は、L1 地震動で RC 断面設計をし、L2 地震動を考慮して芯材を配置することで、二段階耐震設計の思想を具現化することができる。
2. 主鉄筋量の多い鉄道 RC 構造物に対し、UBRC 構造は L2 地震動に対する性能は RC 構造と同等でありながら、主鉄筋量を低減することができ、施工性を高めることができる。
3. UBRC 供試体は RC 供試体よりも小さな残留変位を示している。
4. RC 供試体に比べて累積エネルギー吸収量が小さくとも荷重-変位関係が同程度以上の性能を示している UBRC 供試体は、地震後の供用も考えると非常に耐震性に富んだ構造であることを示している。

参考文献

- 1) 土木学会，土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言，土木学会誌，Vol.81，No.2，1996.2
- 2) 家村浩和，高橋良和，曾我部直樹，鶴飼正裕，アンボンド高強度芯材による高耐震性能 RC 橋脚の開発，第 1 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp.157-162，2000.3
- 3) 家村浩和，高橋良和，曾我部直樹，鶴飼正裕，アンボンド高強度芯材を用いた RC 橋脚の高耐震化に関する基礎的研究，第 4 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム論文集，pp.433-438，2000.12
- 4) 鉄道総合研究所，鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，1999.10
- 5) 日本道路協会，道路橋示方書・同解説 V 耐震設計，丸善，1996.12