

1. まえがき

平成 7 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震では道路橋に甚大な被害が生じた。その被災状況を分析すれば、昭和 55 年以前の設計基準に準拠した橋脚の被災度が大きかった。この原因として、設計荷重が過小に想定されていたことが考えられる。この被害を受けて、既設橋梁の耐震補強が進められた。国土交通省は、平成 17 年度～平成 19 年度の 3 箇年において「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム」<sup>1)</sup>を策定し、耐震補強を推進した。

東海・東南海・南海地震の発生が確実視される状況下で、耐震補強された橋脚の性能を想定荷重あるいは想定以上の荷重に対して再評価し、余裕度を把握することは極めて重要である。ここでは、耐震補強された橋脚の耐力と変形性能を精度よく評価するための解析法を検討するため、CFRP 巻き立て工法によってせん断補強された RC 橋脚を弾塑性有限要素解析した。

2. 解析モデルとその条件

2.1 対象とする橋脚とその断面諸元

対象橋脚を図-1 に示す。昭和 55 年度版<sup>2)</sup>と平成 14 年度版<sup>3)</sup>の設計基準に準拠した橋脚断面を図-2(a), 図-2(b)にそれぞれ示す。耐震補強は、国交省四国地方整備局の設計便覧<sup>4)</sup>を参考に、せん断補強で昭和 55 年設計基準準拠の橋脚に CFRP シートの繊維の方向を帯鉄筋方向に一致させ、橋脚基部から 3,300mm の範囲を 5 層で巻き立てた。

2.2 解析モデルと数値解析手法

橋脚基部ですべての変位成分を拘束し固定した。天端に上部構造と橋脚躯体の半分に相当する重量、すなわち、圧縮力  $P$  と地震力に相当する水平荷重  $H$  を同時に作用させた。ただし、圧縮力は  $P=6.2(\text{MN})$  で、水平荷重  $H$  は等価な変位に置き換えて漸増変位で与えた。

コンクリートをソリッド要素、鉄筋を棒要素、CFRP シートを膜要素でそれぞれモデル化した。コンクリート要素と鉄筋要素の節点を鉄筋位置で共有させ、橋脚断面を( $n_s - 1$ )分割し、かぶり部分を 2 分割した。ここに、 $n_s$  は鉄筋の本数である。橋脚の基部に塑性ヒンジが生じることを想定し、その領域を細かく分割した。CFRP シートはコンクリ

ート要素と節点を共有させた。総要素数と総節点数は、昭和 55 年版モデルで 36,024 要素、35,218 節点、平成 14 年版モデルで 38,836 要素、35,218 節点、耐震補強モデルで 38,752 要素、35,218 節点である。

数値解析に汎用有限要素解析プログラム“MARC2010.2”を用い、非線形代数方程式の解法に Newton-Raphson 法を適用した。

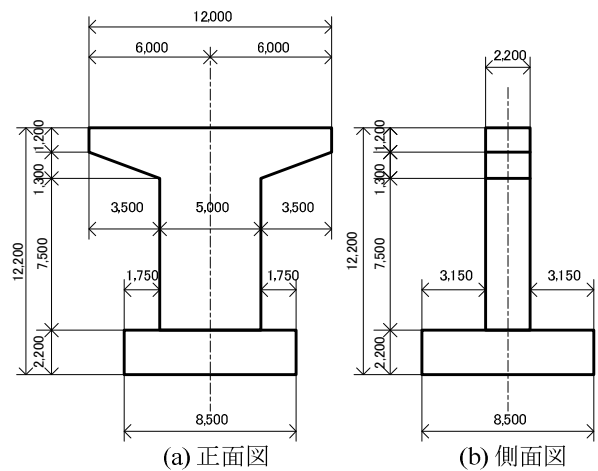


図-1 対象橋脚の正面図と側面図

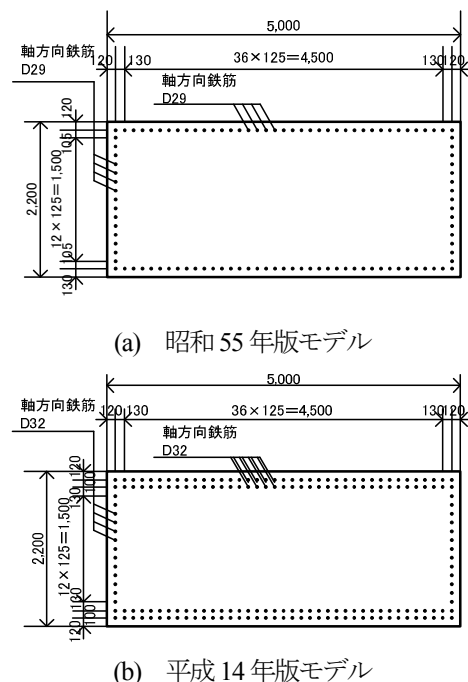


図-2 対象橋脚の断面図

### 2.3 材料のモデル化

CFRP シートは繊維の方向を考慮し、直交異方性材料でモデル化した。ここに、縦横のヤング率はそれぞれ 245(GPa)、0.4(GPa)である。コンクリート、鉄筋、CFRP シートの繊維方向に対して、応力-ひずみ関係を示せば、それぞれ図-3(a)、図-3(b)、図-3(c)である。ポアソン比はそれぞれ 0.2, 0.3, 0.32 である。降伏条件として、コンクリートに Buyukozturk, 鉄筋に von Mises を適用し、CFRP シートは弾性体とした。

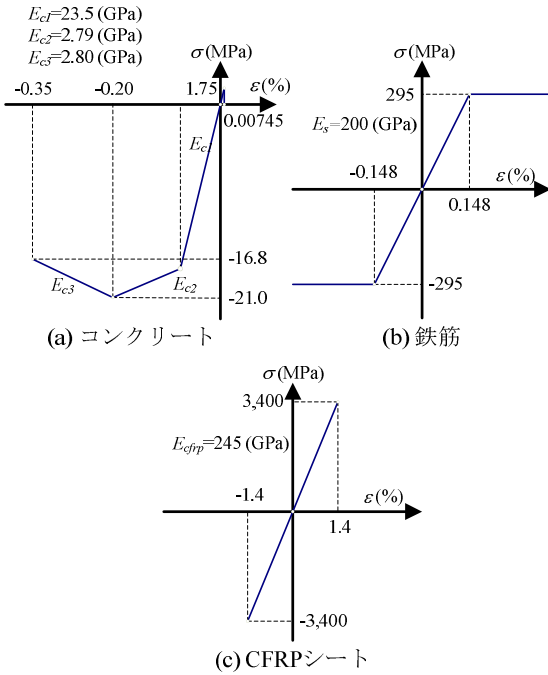
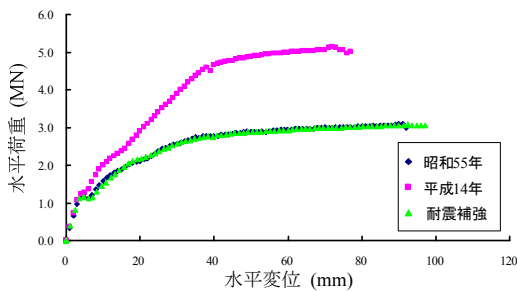
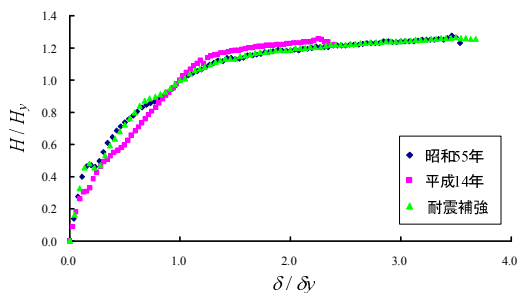


図-3 RC 橋脚を構成する材料の応力-ひずみ関係



(a) 有次元表示



(b) 無次元表示

図-4 水平荷重-水平変位の曲線

### 3. 数値解析結果とその考察

橋脚天端における水平荷重  $H$  と水平変位  $\delta$  の曲線を描けば、図-4(a)を得る。また、縦軸に初期降伏荷重  $H_y$  で除した橋脚天端での無次元水平荷重を、横軸に初期降伏変位  $\delta_y$  で除した橋脚天端での無次元水平変位を用いて水平荷重-水平変位の曲線を描けば、図-4(b)を得る。

図-4(a)から明らかなように、CFRP シートにおける繊維の方向性を考慮すれば、耐力を向上させずに耐震補強できることが確認できた。ただし、本解析によれば、コンクリートの圧壊、すなわち、応力-ひずみ曲線上の限界点を超えれば、その後の解析が不可能であった。無補強の RC 橋脚の性能評価はこれでもよいが、CFRP シートによる補強では変形能がかなり期待されるため、この限界点を越えた解析ができるように改良する必要がある。

図-4(b)によれば、無次元表示された 3 本の水平荷重-水平変位曲線はほぼ一致した。橋脚の耐力と変形能を評価する場合、適切な無次元パラメータの導入が極めて有益であることがわかった。また、主鉄筋の本数が増えると、当然、耐力は上昇するが、変形能は劣るようになる。このような対応関係において、想定以上の荷重に対する耐震性能をどのように評価するかを今後検討したい。

### 4. あとがき

耐震補強された RC 橋脚の性能を明らかにするため、昭和 55 年度版、平成 14 年度版の設計基準に準拠した橋脚、および、昭和 55 年度版で設計された橋脚の耐震補強後のそれを対象に、それらの耐震性能を解析によって比較・検討した。以下に本研究で得られた結果を示す。

- ① 靱性の向上を目指した補強は、耐力を上げず、変形性能を向上させることにある。繊維の方向性を考慮した解析によって、耐力が向上しないことを確認した。
- ② 主鉄筋の本数が増えると、耐力は向上するが、変形能は劣るようになる。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム」の策定について，2005.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，丸善，1980.
- 3) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，丸善，2002.
- 4) 国土交通省・四国地方整備局編：設計便覧，2007.