

I - B 274

兵庫県南部地震時の明石海峡大橋の地震応答解析

本州四国連絡橋公団 正会員 栗原敏広¹⁾ 本州四国連絡橋公団 正会員 森谷俊美¹⁾
 本州四国連絡橋公団 後藤 敦¹⁾ CRC総合研究所 正会員 澤田繁樹²⁾

1. はじめに

兵庫県南部地震の発生時には、明石海峡大橋はケーブル架設工事がほぼ終了した状態であった。橋の主塔には、風による振動を計測するための速度計が設置されており、地震による応答のデータを得ることができた。筆者らは、橋に入力されたであろう地震動を仮定し、地盤の非線形性を考慮した塔～基礎系の解析を行い、応答値と主塔の観測記録の比較により、入力地震動の妥当性を検証した。そのうえで上部工を含めた全体モデルでの応答解析を行い、地震時の橋全体の挙動の推定を試みた。

2. 観測記録

2基の主塔には塔頂および基部から塔の高さの約2/3の位置の塔腹部に速度計が設置されていた。この速度計の観測記録の一部を図1に示す。この記録は、測定レンジを超えた部分を外挿し、フィルター処理でノイズ等を除去したものである。

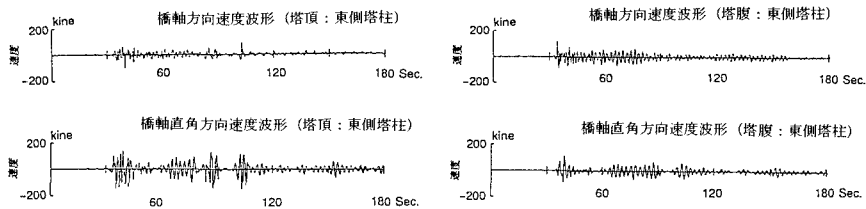


図1 2P主塔速度計観測記録

3. 入力地震動の推定

上記の記録以外、橋に入力された地震動を推定するためのデータは得られていないことから、神戸海洋気象台の観測記録を基に明石海峡における地質条件などから、一次元波動伝播解析により、基礎位置での基盤（花崗岩）上の入力地震動波形を求めた。この入力地震動の加速度波形および加速度応答スペクトルを図2に示す。

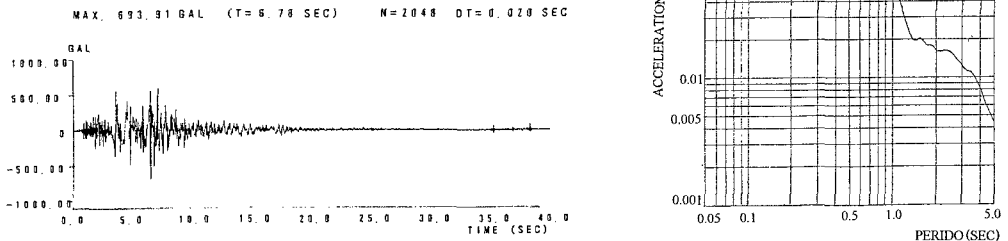


図2 2P基盤上での入力地震動（橋軸直角方向）

キーワード：明石海峡大橋、兵庫県南部地震、地震応答解析

1) 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 TEL 078-291-1075 FAX 078-291-1362

2) 〒136-0076 東京都江東区南砂 2-7-5 TEL 03-5634-5793 FAX 078-5634-7337

4. 塔～基礎系の応答解析

上記の入力地震動の妥当性の検証と地震時の基礎の挙動の検討のため、神戸側主塔基礎（2P）を対象に塔～基礎系の応答解析を行った。解析は時刻歴FEMにより行い、地盤のひずみ依存性などの非線形性を考慮した。地盤のひずみ依存性は、繰り返し三軸試験に基づく $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線、 $h \sim \gamma$ 曲線により、修正R-Oモデルを用いて評価した。観測記録との比較のため、主塔もモデル化し基礎上に付加した。ケーブルの影響を考慮するため、主塔の固有周期が等価となるような質量を塔頂に付加した。解析結果として、主塔の応答の解析値と観測記録を比較したものを図3に示す。

なお、観測記録と解析値の間で時間軸の整合をとることが困難であるため、図3はもっとも波形特性が合うように重ね描きしたものである。図3より、応答の絶対値は差があるものの、解析での波形特性は概ね観測記録を再現していることがわかる。また、解析で得られた基礎の底面諸力を用いて、安定照査を行ったところ、もっとも厳しい鉛直支持の安定に関しても1.67の安全率が確保されており、地震後の詳細点検によっても基礎に異常が無かったという事実と合致していることから、入力の設定としてはほぼ妥当であると判断した。

5. 架設系の応答解析

地震時の橋の状態での応答解析を行った。入力地震動は基礎～地盤系の二次元FEMを行い、有効入力動として算出したものを用いた。地盤ばねは、非線形性を考慮する必要があることから、FEMにより得られた周波数依存ばねを全周波数領域にわたってばね係数、減衰係数を一律に補正する係数を設定した。

上部工は立体骨組みモデルとした。なお、主塔には風による振動の対策としてTMDが設置されていた。これによる制振効果を考慮するため、主塔の曲げ・ねじれの1次振動モードに対して設計対数減衰率を付加した。主塔・ケーブルの減衰定数は1%とした。図4に橋軸直角方向の主塔の応答を示す。応答の絶対値は差があるものの、解析での波形特性は概ね観測記録を再現していることがわかる。また、図4では30秒付近で観測記録にみられる「揺り戻し」も再現されている。

解析結果より主塔各部の応力度を算出したところ、最大応力度は基部において発生したが、地震時許容応力度以下であった。また、TMDを考慮した場合は考慮しない場合に比べ、最大5%の応力度低減効果があった。

6. まとめ

①神戸海洋気象台の観測記録に基づく入力地震動が概ね妥当であることが塔～基礎系の応答解析によりわかった。②架設系の全体解析により入力・等価非線形地盤ばね・上部工の減衰などの考え方が妥当であることがわかった。③地震時に基礎・上部工が健全であったことがわかった。

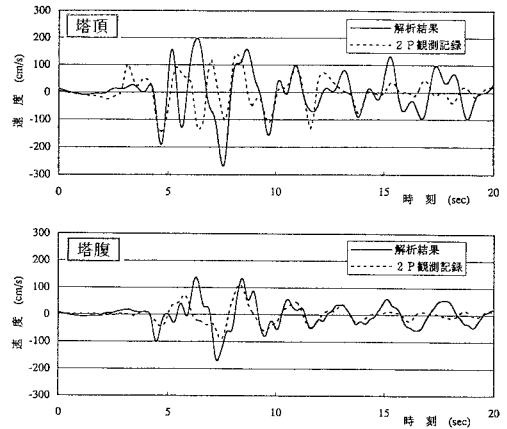


図3 2P主塔観測記録との比較（速度波形図）

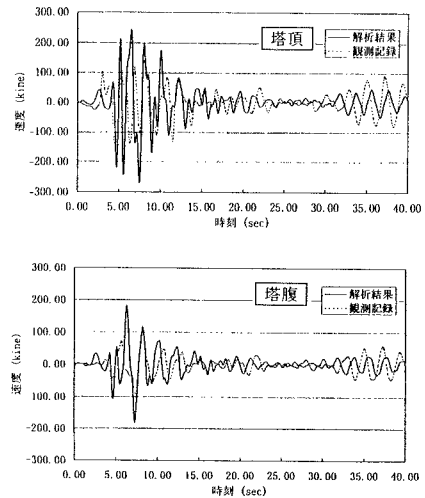


図4 2P主塔観測記録との比較（橋軸直角方向）