

(I-74) 兵庫県南部地震による高架橋崩壊被害のメカニズムに与えた桁同士の衝突の影響

中央大学大学院 学生員 西川 大介
東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに: 先の兵庫県南部地震は、多数の人命損失と様々な都市施設に大きな被害をもたらした。万全の耐震設計がなされているはずの高速道路や新幹線をはじめとする橋梁構造物にも様々な被害が生じたが、その中でも支承や橋脚の破壊が多く見られた。支承や橋脚が損傷すると、桁に残留変位が生じたり、隣接する桁同士が次々に衝突する「玉突き衝突」が生じる可能性がある。このような被害の軽減には、衝突を含む隣接桁の相互作用の解明が不可欠である。

本研究では個別要素法(Distinct Element Method, DEM)¹⁾に改良を加えた任意の矩形要素を扱える拡張個別要素法(Extended DEM, EDEM)²⁾を用いて、兵庫県南部地震で甚大な被害を受けた単柱高架橋の崩壊解析を試みる。

2. 解析モデル: 本研究では写真1に示す高架橋の崩壊被害を対象として、隣接桁の相互作用を考慮して、その崩壊メカニズムの解析を試みた。写真1の高架橋で落橋した箇所は、図1の4径間単純箱桁中央2径間部分の橋桁であり、橋脚 P3 と P4 上の可動支承側の桁端が橋脚先端から脱落して落下した。また橋脚 P1 から P5 にいたるまで橋脚基部に損傷が見られた³⁾。被災した箇所の東(大阪)側は5径間連続の鋼床版ゲルバー箱桁橋に、西(明石)側は3径間連続鋼箱桁橋に隣接している。この高架橋を図1、図2に示すようにモデル化し解析を行った。モデルの作成に当たっては被害橋梁の崩壊モードや計算時間の短縮等に配慮し、詳細な構造部分に対しては可能な限り単純化をはかった。なお、解析に先立って行った



写真1 橋桁 S3 および S4 の落橋

衝撃応答シミュレーションから、解析モデルが道路橋示方書から求まるこの種の構造物と一致する固有周期を弾性範囲内で持つことを確認している⁴⁾。

3. 解析結果: 本研究では、地震外力として神戸海洋気象台で記録された加速度波形を数値積分して得られた変位波形を用いたが、震源と高架橋の位置関係から、EW 成分の変位波形(図3)を各橋脚の基礎に与えている。

(1) 地震外力の位相差が及ぼす影響: 見かけの地震動の伝播速度(V_a)を変化させながら($V_a=500, 1000, 3000, 5000, \infty$ m/s)、地震動が西から東に伝播したことを仮定した5ケースの解析を行った。解析結果の一例を図4と図5に示す。橋桁同士の衝突で衝撃的な大きな力が作用している様子が見られる。この解析では、桁同士の衝突は生じるが、支承部を含めて各要素間の連結バネは破断しない条件を与えた。位相の違う5ケースの動的応答の最大値を比較した結果(図6)、想定しうる V_a の範囲内では、 $V_a=3,000$ m/s のケースが最も厳しい条件であることがわかった。

(2) 隣接する動特性の異なる桁橋が及ぼす影響: 単純桁 S2~S5 とその両端に位置する2つの連続桁橋(S1 と S6)の動特性が大きく異なることが、落橋被害の一因と考えられることから、S1 と S6 の連続桁をそれぞれ3つの単純桁と5つの単純桁に分割し、(1)と同様の条件のもと、動的応答解析を行った。 $V_a=3,000$ m/s の条件における結果を図7に示す。分割によってS1 と S6 部分がS2~S5 と近い動特性を持つ単純桁になり、桁同士の激しい衝突が発生しなくなった。図5の結果との比較から、隣接する動特性の異なるシステムが落橋に大きな影響を与えたことが認識できる。

(3) 桁間の衝突が落橋に及ぼす影響: 次に

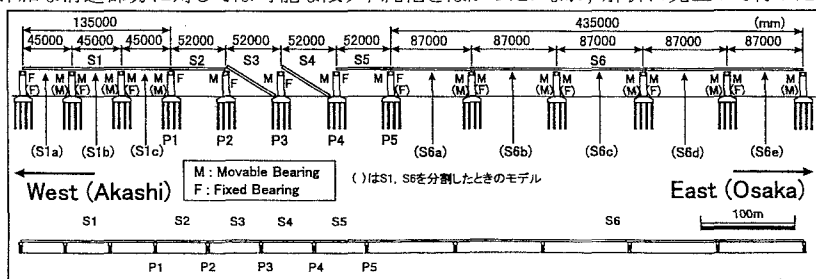


図1 解析対象高架橋の崩壊モードと解析モデルの全景

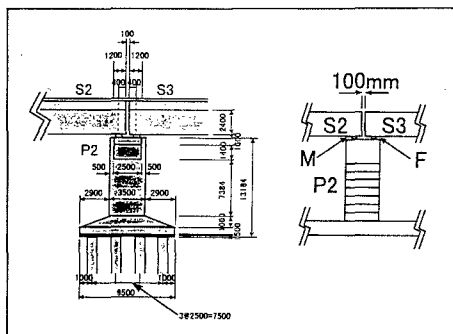


図2 橋脚部分の概寸とその解析モデル

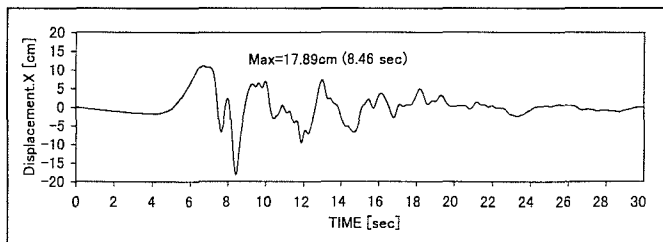


図3 入力波形

Key Words: 拡張個別要素法, 個別要素法, 破壊解析, 橋梁の耐震, 桁衝突

〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1 Tel: 03-3402-6231(内線2662) Fax: 03-3408-2666

$V_a=3,000\text{m/s}$ の条件の下で、動的破壊解析を試みた。解析結果を図8と図9に示す。図9は20秒間の解析のうち、桁同士の衝突が激しい7.0~10.0秒の変位応答の拡大図を表している。図より、S6の支承の損傷によるS6とS5の衝突が引き金となって、次々と隣接桁同士の玉突き衝突が伝達されていく様子が分かる。桁同士の衝突の影響で8.0秒前後にS1からS6におけるすべての固定支承が破壊し、最終的には図10に示すようにS2とS3が落橋するに至った。実際の崩壊被害では、こうした玉突き衝突の過程で、桁同士の食込み(S2とS3間で約30cm)や、各橋脚の残留変位の発生により、桁によっては図8で見られる以上の大きな応答変位があったと推定される。図1にも示したように、実際の被害ではS3、S4桁が落橋したが、今回採用した入力地震動や境界条件を考慮すると、このシミュレーション結果は、定性的には被害のメカニズムを再現していると考えられる。

次に同様の境界条件の下で、連続桁S1及びS6を単純桁に分割して解析した結果を図11に示す。図8の結果との比較から、応答変位が著しく小さくなっていることが分かる。隣接する動特性の異なる連続桁橋の影響が大きかったことがうかがえる。

4. おわりに

本研究では、任意矩形要素を用いた拡張個別要素法(EDM)による兵庫県南部地震で被害を受けた単柱高架橋の動的破壊シミュレーションを行い、大きな地震外力を受けた場合に起こる桁同士の衝突が高架橋崩壊に及ぼす影響を調べた。その結果、実際の被害と同様の崩壊モードが得られるとともにその崩壊メカニズムが推定された。

参考文献

- 1) Cundall, P.A: A Computer Model for Simulating Progressive, Large Scale Movement in a Blocky Rocksystem, Symp. ISPM, Nancy, France, Proc., Vol.2, pp.129-136, 1971.
- 2) Kimiro MEGURO and Tadayuki SATO: Simulation of collapse of structures due to the 1995 Great Hanshin earthquake, Proc. of 11th World Conference on Earthquake Engineering, 9 pages, 1996.6.
- 3) 建設省土木研究所: 兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する研究, 1995.12.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 1990.2.

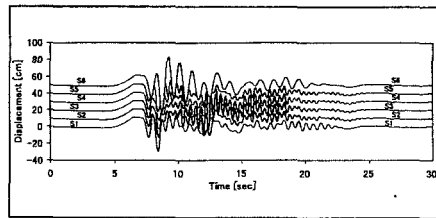


図4 橋桁の応答変位 ($V_a=3,000\text{m/s}$)

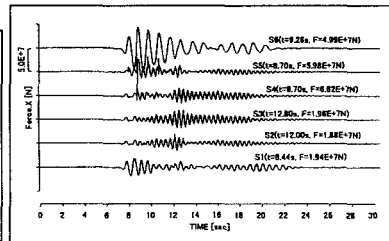


図5 支承に作用する力の時刻歴

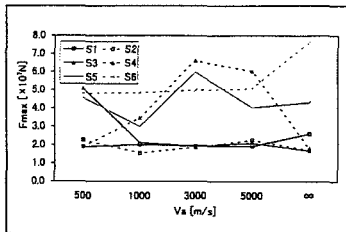


図6 支承に作用する力の最大値

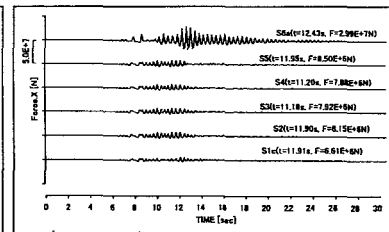


図7 支承に作用する力の時刻歴 (S1, S6 分割)

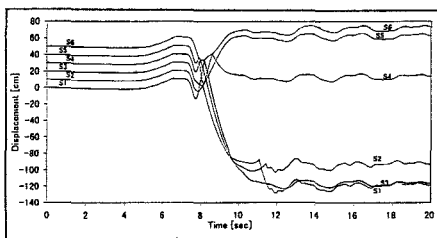


図8 橋桁の応答変位 (破壊解析, $V_a=3,000\text{m/s}$)

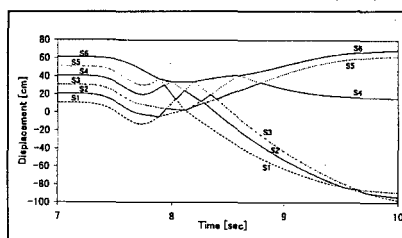


図9 橋桁の応答変位 (図8の拡大図)

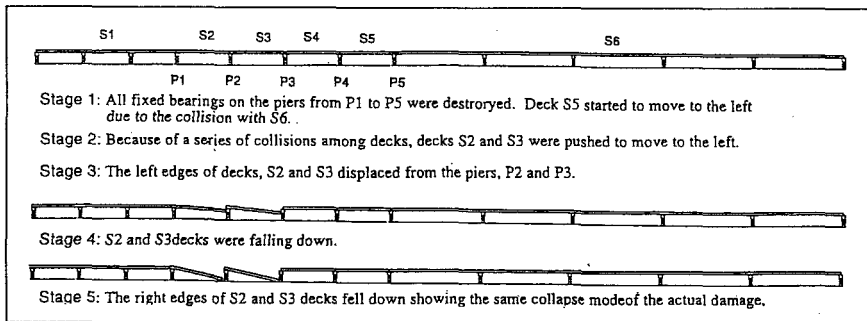


図10 高架橋崩壊のシミュレーション

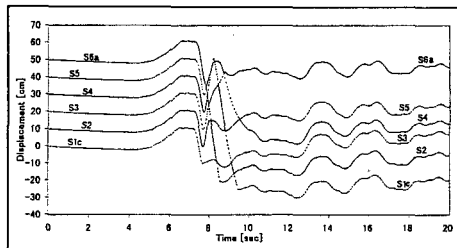


図11 橋桁の応答変位 (S1とS6を分割)