

I - B260

兵庫県南部地震による高架橋崩壊被害における桁同士の衝突の影響

中央大学大学院
東京大学生産技術研究所

学生会員 西川大介
正会員 目黒公郎

1. はじめに

兵庫県南部地震は、地震工学の先進国と言えども構造物の崩壊被害によって多くの犠牲者を出してしまうことを再認識させた。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。兵庫県南部地震の被害には、桁同士の衝突の痕跡が見られるものもあり、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た。この手法では、低自由度のモデル化が可能となり、解析時間の短縮化がはかられる。

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、隣接桁の相互作用に関して検討し、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径間単純箱桁の中央の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天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。被災した箇所の東(大阪)側は5径間連続

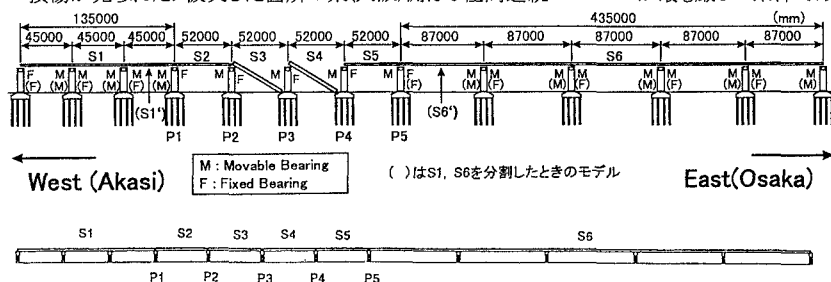


図1 解析対象高架橋の崩壊モードと解析モデルの全景

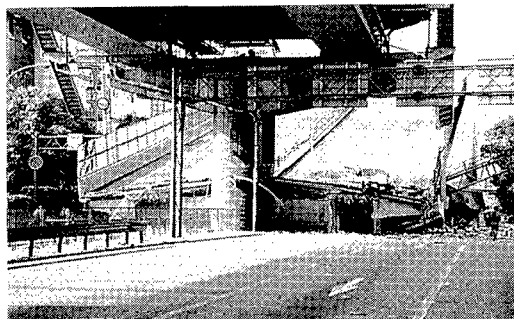


写真1 橋桁 S3 および S4 の落橋

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解析の目的を満たす範囲で単純化を図った。さらに解析に先立って行った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た。

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1例を図4と図5に示す。橋桁同士の衝突による衝撃的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間隙パネは破断しない条件を与えている。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, $V_a=3000$ 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つのゲルバー橋 (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6つの単純桁に分割し、(1)と同様の条件のもとで動

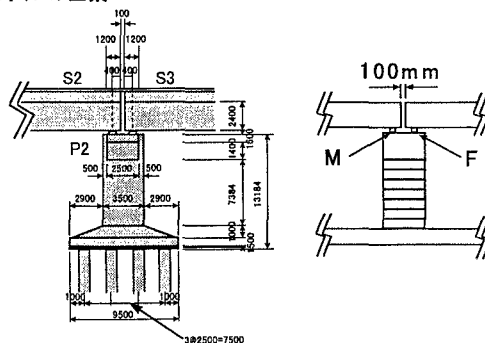


図2 橋脚部分における概寸とその解析モデル

キーワード: 拡張個別要素法, 個別要素法, 破壊解析, 衝突, 耐震設計

連絡先: 〒106 東京都港区六本木 7-22-1 東京大学生産技術研究所 国際災害軽減工学研究センター

TEL.: 03-3402-6231(内線 2661) FAX.: 03-3402-4165

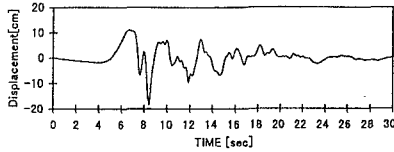


図3 入力波形

的応答解析を行った。Va=3000m/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と似た動特性を持つ単純桁になり、桁同士の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ゲルバー橋の影響がいかにか大きかったかがわかる。

(3) 桁間の衝突が落橋に及ぼす影響：次に Va=3000m/s の条件のもと、破壊解析を試みた。解析の結果を図8と図9に示す。図9は20秒間の解析のうち、桁同士の激しい衝突が発生した8.0秒前後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わかる。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た。実際の崩壊被害では、こうした玉突き衝突の過程で、S3桁端のS2桁端への食い込みや、各橋脚の残留変位の発生により、

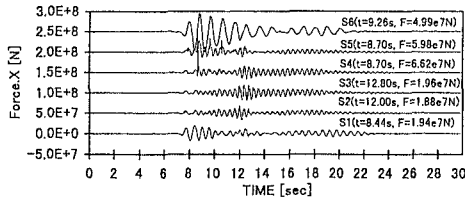


図5 支承に作用する力の時刻歴(Va=3000m/s)

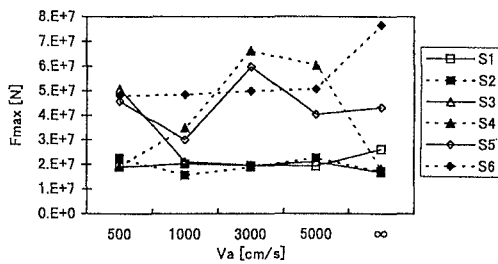


図6 支承に作用する力の最大値の比較

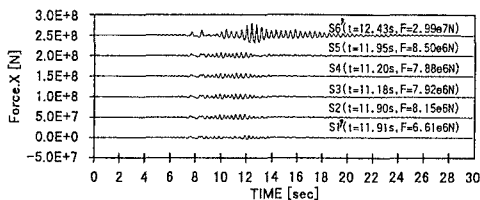


図7 支承に作用する力の時刻歴(S1とS6を単純桁に分割)

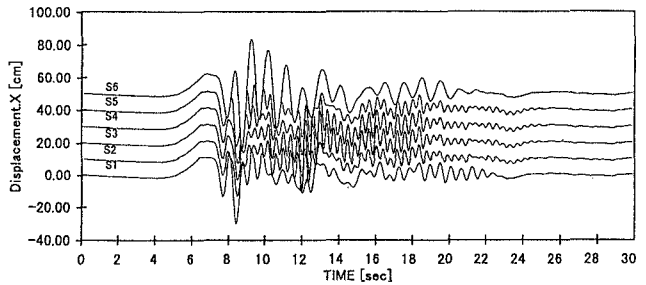


図4 橋桁の変位応答(Va=3000m/s)

図8で見られる以上の大きな応答変位があったと推測される。

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な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) MEGURO and M.HAKUNO : Fracture Analyses of Concrete Structure by the Modified Distinct Element Method, Structural Eng./Earthquake Eng., Japan Society of Civil Engineers, Vol.6, No.2, pp.283s-294s, 1989.10.
- (3) 藤唯行・目黒公郎・片山恒雄：矩形要素を用いた拡張個別要素法の構造物破壊解析への適用，土木学会第50回年次学術講演会概要集I, pp.900-901, 1995.
- (4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1990.2.
- (5) 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.

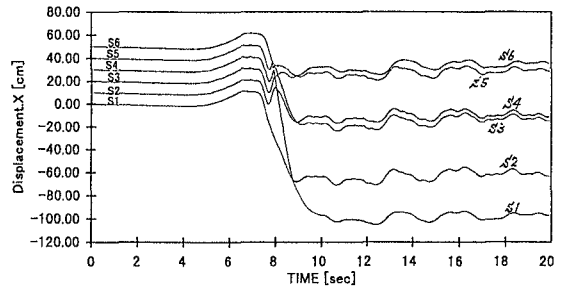


図8 橋桁の変位応答(Va=3000m/s)

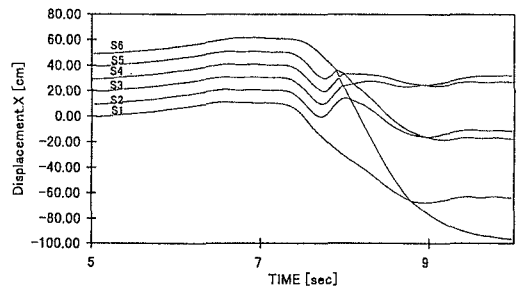


図9 橋桁の変位応答(Va=3000m/s)