応用要素法による連続高架橋の地震時崩壊挙動の３次元シミュレーション

東京大学大学院　　学生会員　○伊東 大輔
東京大学生産技術研究所　正会員　目黒 公郎

１． はじめに

設計外力は,対象地域での地震活動度,地盤条件,経済性,構造物の重要度などを十分考慮して適切に決定しなくてはいけない.その上で設計外力を越える地震動が作用した場合の挙動を把握しておくことが重要である.その際には過去の地震被害例からも,崩壊過程までを対象とした挙動の検討が必要であるが,現在この検討は十分ではない.

そこで本研究では,兵庫県南部地震の際に崩壊した RC ピルツ式高架橋(橋脚本数17本,ピルツ区間673．5[m])を模擬した構造物の地震時動的破壊挙動の3次元シミュレーションを行い,そのメカニズムの把握を試みる.解析手法には Meguro・Hatem によって開発された応用要素法(Applied Element Method:AEM)[1)]を用いる.

２．３次元応用要素法(3D-AEM)

3D-AEM では, 解析対象を仮想的に分割した立方体または直方体の集合体として扱う. 各要素は, 法線方向1本とせん断方向2本の分布バネで連結しており, これらのバネを介して力のやり取りを行う(図1). コンクリートと鉄筋の材料モデルには,図2に示すモデルを用いている.

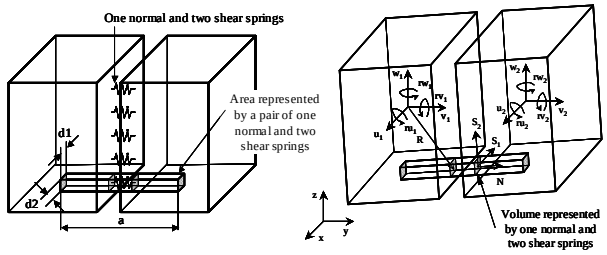


図1　3D-AEM のバネ分布と幾何学的関係

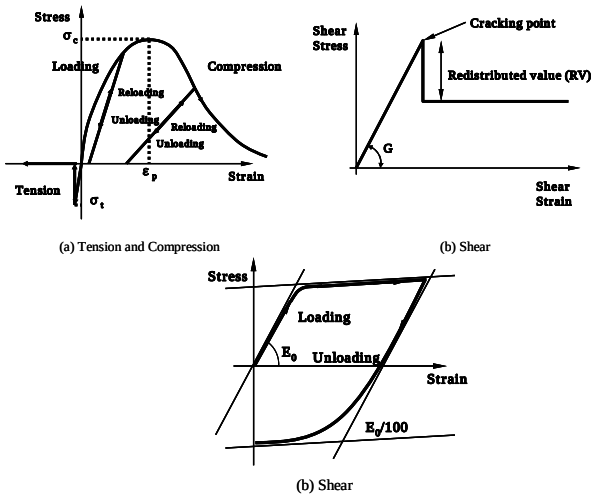


図2　コンクリートと鉄筋の材料モデル

AEM ではクラックの発生は,各バネが材料特性と応力条件によって破壊することにより表現されるため, クラックの発生位置や方向をあらかじめ仮定する必要はなく,進行性破壊現象が自然と表現されるモデルになっている. また RC を扱う場合, 鉄筋の位置に忠実に鉄筋の材料モデルを適用したバネを配置することで, 鉄筋の位置と量を直接考慮した解析が可能となる.

３．解析対象

解析対象は図3に示すような RC ピルツ式高架橋であり, その両端に上部構造を単純桁とする橋脚を2本づつ配置した(総橋脚本数21本, 総長771．5[m]). 橋脚は図5(a)に示す

表１　対象橋脚の特徴

設計水平震度	0.20
断面寸法	3.0×3.0 [m]
軸方向鉄筋比	1.28 [%]
帯鉄筋比	0.09 [%]
上部工死荷重	40800 [kN/本]
コンクリート基準強度	34300 [kN/m^2]
先行する破壊形態	せん断

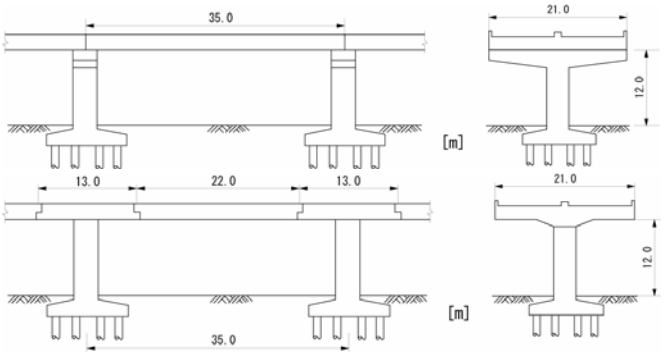
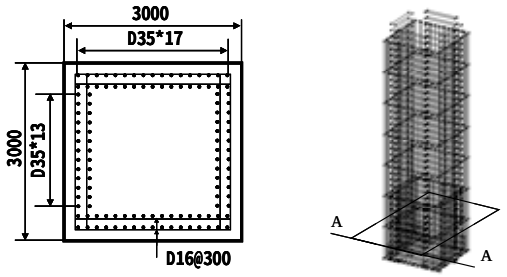


図3　単純桁高架橋(上)・RC ピルツ式高架橋(下)一般図



(a)配筋図(A-A 断面)　　(b)鉄筋バネの分布

図4　対象橋脚モデルの配筋の様子

キーワード：　応用要素法，３次元解析，高架橋，崩壊シミュレーション

連絡先　〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 B 棟　目黒研究室

ように,昭和39年鋼道路橋示方書[3)]によるものとする．橋脚の特徴は表1の通りである．また本研究では対象高架橋の立地条件を考慮して,橋軸方向を E-W 方向と仮定する．図4(b)にモデル化した橋脚の鉄筋バネの分布を示す．配筋図に従って1本1本の鉄筋を直接考慮しており，高さ3m で主鉄筋を段落している．また各橋脚には,東側から西側に向かって順番に,n01～n21と名称をつける。

4．入力地震動と境界条件

入力地振動は神戸海洋気象台において観測された兵庫県南部地震の3成分（N-S（-Y），E-W（-X），U-D（+Z））とする．各橋脚の最下部の要素に，この3次元入力を行う．また，高架橋端部における境界条件としては，上部構造の両端に境界要素を設置し，U-D（+Z）方向変位のみ支持するものとし，その他の方向の変位は自由とした．

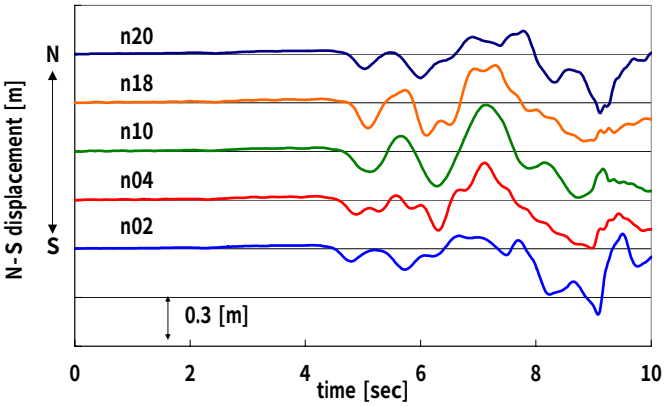


図5　時刻歴応答変位

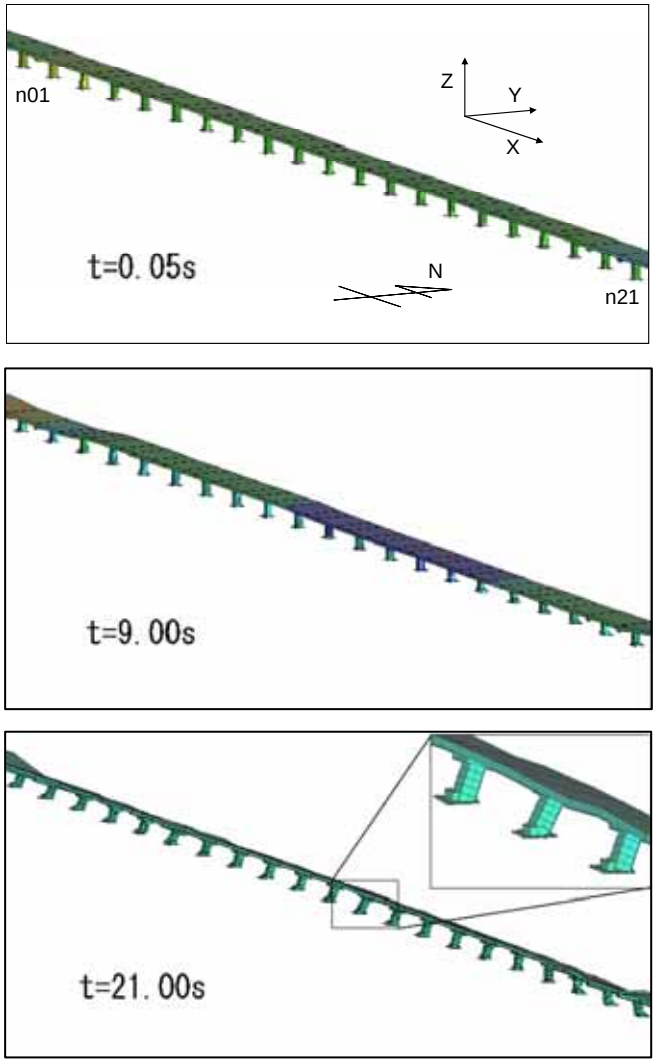


図6　3D-AEM によるシミュレーション結果

5．各橋脚への地震波到達時間の差

解析対象とした高架橋は，橋軸方向に非常に長い構造であるため，橋脚ごとに地震波が到達する時間に差が生じることが考えられる．この時間差による見かけ上の地震波の速度を Va=3000[m/sec] とする[2)]．これにより，1径間の時間差は⊿t=0.0117[sec]，21径間のトータルの時間差は ⊿T=0.2457[sec] となる．

6．解析結果と考察

図6からわかるように,約 4.5[sec]において橋脚基部において破壊が進展し始める.これにより上部構造を支えきれなくなり，橋脚基部から崩壊が始まる．また全ての橋脚で同時に崩壊が始まるのではなく，単純桁を上部構造とする n01 橋脚(西側)に近い位置にあるピルツ橋脚から崩壊が始まった．これは，構造形式が異なる場所において他の橋脚よりも橋脚基部に強い力が作用したためである．また上部構造が連結されていることで，その崩壊が隣接する橋脚に徐々に広がっていく結果が得られた．そして，全ての橋脚の基部に破壊が進展した後，徐々に横倒しの状態になっていくという結果が得られた．

7．まとめ

RC 連続高架橋において地震波到達時間の差を考慮した3次元 AEM 解析を行った．崩壊は，単純桁を上部構造とする橋脚に近い位置にあるピルツ橋脚の基部から始まり，隣接する橋脚に進展し，その後徐々に横倒しの状態になっていく結果を得られた．今後は地盤および基礎を考慮した検討を行う予定である．

参考文献

1) Meguro K. and Tagel-Din H.： A new efficient technique for fracture analysis of structures, Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center, No.30, pp.103-116, 1997.

2) Meguro K. and Katayama T.： Simulation of collapse process of elevated expressway bridges due to the 1995 KOBE earthquake, Earthquake Engineering Frontiers in Transportation Facilities, pp.155-166, 1997.

3) 境淳一･川島一彦：試設計に基づく耐震技術基準の変遷に伴う RC 橋梁の耐震性向上度の検討，構造工学論文集 vol.43A，1997.