

I-621

ロマブリータ地震・サイプレス高架橋 破壊過程の一考察

(株)大林組技術研究所 正会員 表 佑太郎

(株)大林組技術研究所 正会員 大内 一

(株)大林組技術研究所 江戸 宏彰

1. はじめに

1989年10月17日に発生したロマブリータ地震で、カリフォルニア州オークランド市のサイプレス高架橋が倒壊した。1950年代初期の設計である本高架橋には多ピン構造が採用されており、2層柱脚ピンジョイント部のせん断破壊が代表的な破壊例として示されている。サイプレス地区南側の硬質砂層上で被害が軽微なのに比し、北側軟弱地盤上に被害が集中していることは、軟弱地盤上での地震動の増幅を予想させる。本論文は高架橋の破壊及び破壊に至る過程に注目し、保有解析プログラムの妥当性を検証する目的でFEM非線形解析を行ない、その結果に基づき質点系弾塑性応答解析を実施した結果の報告である。

2. FEM非線形解析

図-1に示すように、最も倒壊の激しかったRCベント(1, 2層柱脚ピンジョイント)に関して、汎用構造物非線形解析ソフトABAQUS(Ver.4.7)に当社開発のコンクリート構成則ガラルチを組み込み、スーパーコンピュータ(SX-1EA)で橋軸直交方向の2次元FEM解析を行なった。用いた材料定数は以下のとおりである¹⁾： $f_c'=422\text{ kg/cm}^2$, $f_t=30\text{ kg/cm}^2$, $E_c=2.8\times 10^5\text{ kg/cm}^2$, $f_{sy}=2812\text{ kg/cm}^2$ 。死荷重は1スパン分のボックスガード自重を1、2層梁に等分布载荷する。その後橋軸直交方向1次固有モードから決まる水平力(1:0.54)を1、2層梁に分布させ、漸増载荷した。なおこの分布は弾性地震応答解析より得られる4秒過ぎのピーク加速度分布とほぼ対応する。図-2には破壊前のひびわれパターンを変形図とともに示す。自重载荷の段階で、既にジョイント部から1層上主筋折れ曲げ部に沿い斜めひびわれが発生し帯筋の一部も降伏する。破壊前にはさらに拡がり、折れ曲げ主筋に沿い比較的立ったひびわれが発生する。

図-3には水平方向ひずみのコンタを示すが、同主筋に沿いひずみの大きいことは興味深い。これは折れ曲げ筋外側かぶりの付着切れに伴う剥落滑り破壊を示唆する。この後ジョイント直下の帯筋が全域にわたり降伏した後、解が発散して計算上の耐力を得た。この時点での2層部水平震度は0.29Gであった。典型的な破壊パターンとして、上記部分でのせん断破壊とともに2層部梁端下縁からの曲げひびわれの拡がり報告されている¹⁾。本解析では図-2に示すように、横梁左端部に曲げひびわれが発生する。解析上同部下筋は降伏には至らないが実際には直に接合部内に埋め込まれており(図-1)、定着長さを考えると同ひびわれは急成長することが考えられる。加えて落下過程で

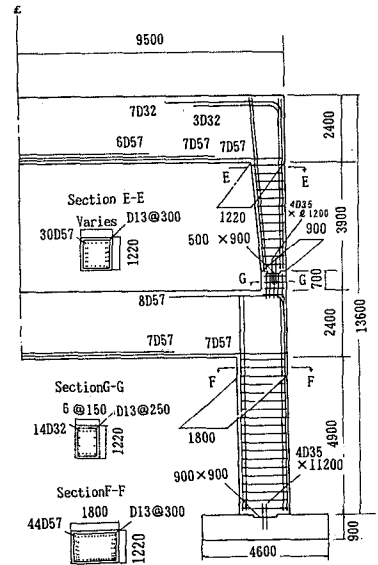


図-1 サイプレス高架橋RCベント

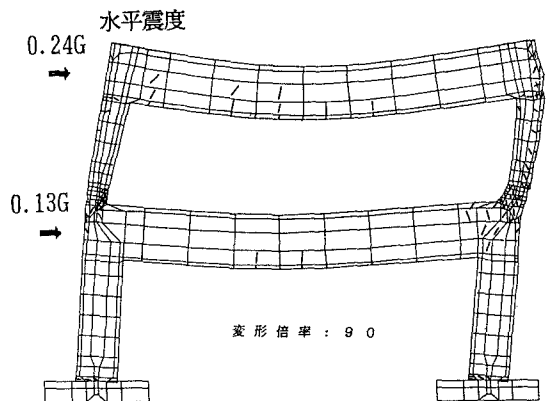


図-2 ひび割れパターン

柱が外側に押し広げられ、さらに拡がると予想される。

3. せん断形2質点モデルによる弾塑性地震応答解析

層の復元力特性として、図-4に示すようにFEM解析より得られたせん断力-層間変位をマルチリニアモデルで近似する。履歴ルールはエネルギー吸収の小さな脆性破壊型であることから原点指向型とする。ここに1および2層の勾配急変点は、それぞれ1層柱脚ひびわれ、2層ピンジョイント直下帯筋の降伏域拡がりに対応する。入力地震動は同地区北側2kmの地点で、解析対象地点と同様の軟弱地盤上での地震記録であるEmeryville EW成分（橋軸直交方向に相当）をデジタル化して用いた。計算時間刻みは0.001秒、減衰定数は $h=3\%$ （内部減衰型瞬間剛性比例型）とした。

図-4に示される初期剛性に基づく固有周期は $T_1=0.44$ 秒 $T_2=0.15$ 秒であり、生き残ったダメージのない同一構造バントの起振機実験から得られた $T_1=0.39$ 秒、 $T_2=0.22$ 秒¹⁾に比較的良好に対応する。図-5には上記地震記録による加速度応答スペクトルを示すが、この固有周期より長周期側にピークがあり、破壊進行により構造物の周期は伸びるので、過大な地震力の作用することが予想される。図-6には入力地震動と応答波形を示す。倒壊は4.4秒過ぎで地震動が最大になる以前の負側の振動で起こる。図-4中には最大応答変位点を示すが、2層部が急激に耐力低下する場合の応答であり、系の急変により1層の応答が急増したと思われる。この際1層で降伏ヒンジの発生も考えられるが、2層部が耐力低下域にあることから、おおむね破壊に至る過程は確認できたといえる。

4. 結語

当高架橋の代表的な破壊であるピンジョイント部のせん断破壊をABAQUSプログラムにより、おおむね解析できた。またこの結果に基づく弾塑性応答解析により破壊過程を確認できた。地震波のデジタル化および解析担当の当所土木第5研究室後藤室長、江尻研究員、またコンクリート構成則開発担当であり、ABAQUS使用に関し協力頂いた数値解析研究室、長沼研究員に深謝する。

1) D.K.Nims et al., Collapse of the Cypress Street Viaduct as a Result of the Loma Prieta Earthquake, UCB/EERC -89/16, Nov. 1989

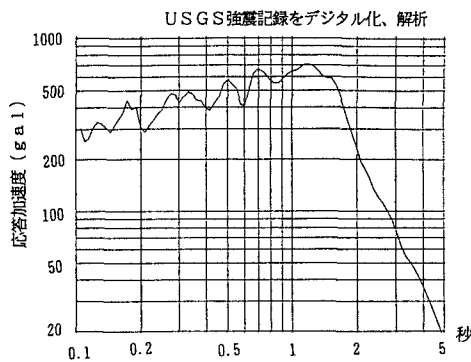


図-5 Emeryvilleの加速度応答スペクトル(h=5%)

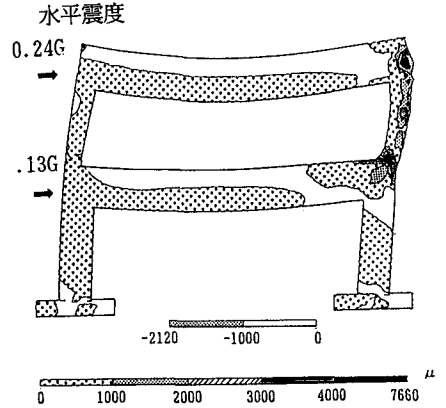


図-3 水平方向ひずみコンタ

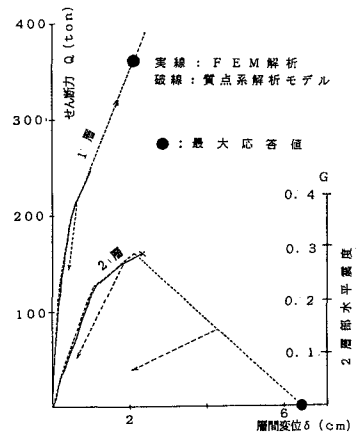


図-4 せん断力-層間変位

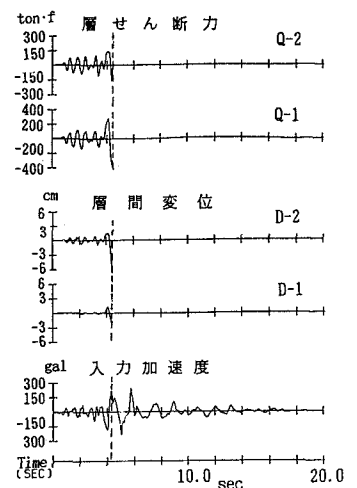


図-6 入力加速度と応答波形