

直下型地震の上下震動による上部構造の振動が橋脚に与える影響

千葉工業大学 正 会 員 謝 爽
千葉工業大学 フェロー 足立 一郎

1. はじめに 平成7年に発生した兵庫県南部地震では、橋の上部構造が地震波の上下動に従って上下起伏を起こし、上下振動による破壊が観察された。これに対する説明と研究は地震の発生以来まだ少ない。上部構造の上下振動が支承部を通じて下部橋脚コンクリートに圧縮力、引張力及びせん断力を与え、コンクリート支圧耐力と桁かかり長さなどに対する影響があると思われる。本研究では、既存鉄筋コンクリート橋梁を対象とし、2次元非線形有限要素を用い、上下振動が橋脚上部コンクリートに与える影響を調べた。

2. 上下地震動による解析 解析対象とした既存橋梁では上部構造は主桁が単純鋼I型であり床版がRC構造である。支間長26.0m、全幅員11.0m、支承部は鋼製支承である。下部構造は単柱式橋脚、矩形断面2.30×1.70mである。コンクリート強度は21.0MPa、鉄筋はSD295、鉄骨はSS400を使用した。解析方法には動解析プログラムTDAPIIIを用い、二次元FEM非線形解析を行った。モデルはフーチング基礎上で完全固定とし、コンクリートは平面ひずみ要素で、橋脚の主鉄筋、帯鉄筋と床版の配力鉄筋はトラス要素で、単純鋼は非線形2次元梁要素で構成されるものとした。要素分割は図-1に示した。入力地震波は兵庫県南部地震における神戸海洋気象台の上下方向記録を用いた。時間積分に当たっては、コンクリート減衰は5%、鉄骨は3%とし、時間刻みは0.005秒で、反復型Newmarkの β 法($\beta=0.25$)により20秒間応答解析した。単純鋼の弾塑性材料特性はバイリニア型の応力-ひずみ関係とし、塑性化した後の剛性は1/200に低下させることにした。コンクリートを弾性-完全塑性体と仮定し、Mohr-Coulomb完全弾塑性の破壊基準を用いた。

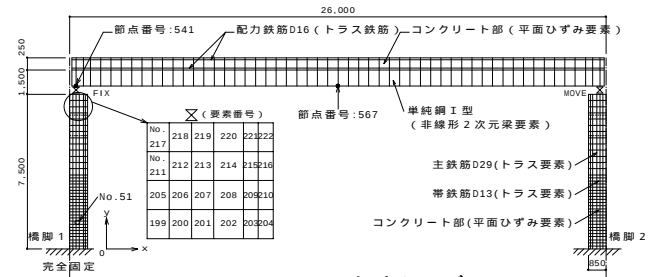


図-1 解析モデル

3. 解析結果

(1)橋桁中央部と支承部の上下変位の時刻歴 地震波の0秒から20秒間解析した桁中央部と支承部における上下方向の変位時刻歴を図-2に示す。中央部は地震動初期の衝撃的な力で大きく上下変位し、塑性大変形が見られた。4秒前後には下向き変位が最大1.3mに、上向き変位が0.72mに達した。その後、地震波に従って上下起伏変位するが、ほぼ上向き側で変位することが分かった。さらに、時間の増加に伴い、支承部と同様に応答変位は増加して行く傾向が見られた。

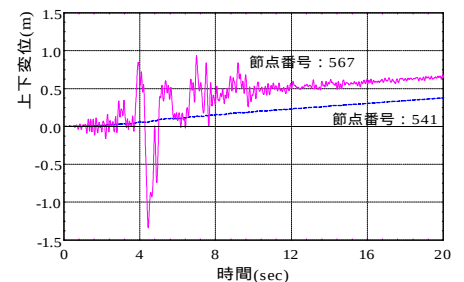


図-2 橋桁の上下方向の時刻

(2)橋桁の上下変位による梁要素の変位角 上部構造の上下起伏変位による影響を調べるため、まず、支承部

にある非線形2次元梁要素No.502の上下変位を調べた。解析結果から、No.502梁要素の両端部B点とC点の変位から求められた相対変位を梁要素の長さで割って、水平軸に対する傾斜角度が図-3に示すように得られる。

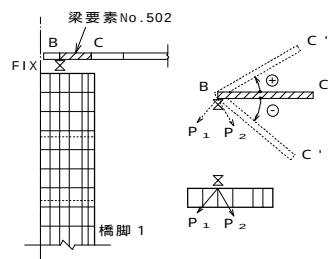


図-3 梁要素の傾斜角

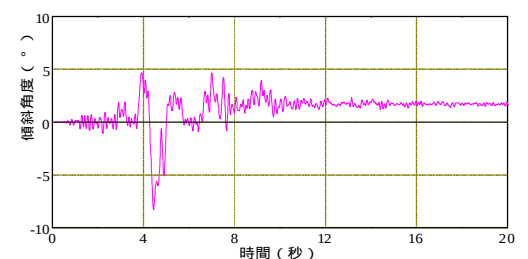


図-4 梁要素の水平軸に対する傾斜角

ここで時計回り方向を負、逆方向を正とする。この変位角が分かれば、上下変位する桁が橋脚に与える力 P_1 が P_2 の方向を推定することができる。図-4には梁要素No.502の傾斜角の時刻歴を示す。この図よ

り傾斜角度は 3.92 秒時に急に 4.65° になり、4.45 秒にマイナス側の最大 -8.30° に達したことが分かった。

(3)梁要素から橋脚に与える軸力、せん断力と曲げモーメントの分布 上部構造の上下変位が支承を通じて橋脚に与える影響を梁要素 No.502 の軸力 N 、せん断力 S と曲げモーメント M で考える。図 - 5 に梁要素 No.502 が橋脚コンクリートに与えた力の時刻歴を示す。

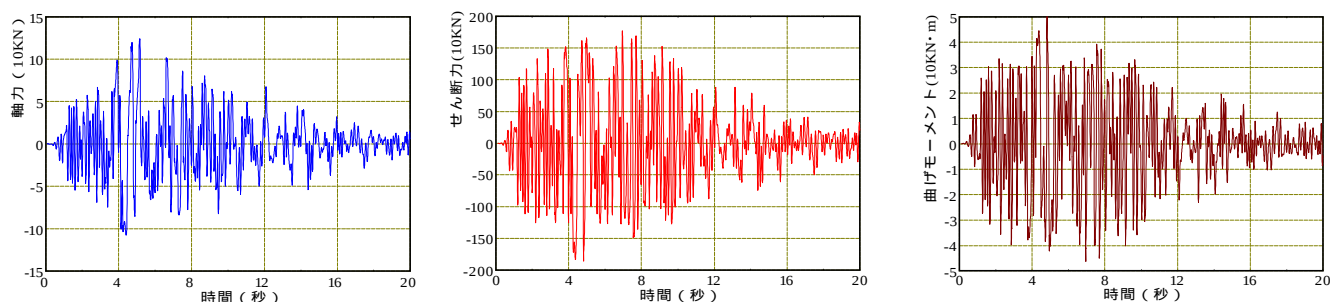


図 - 5 梁要素 No.502 が橋脚コンクリートに与えた力の時刻歴

(4)軸力とせん断力による合力の角度分布 梁要素 No.502 が橋脚コンクリートに与える合力 P の方向が図 - 6 に示す。この P の方向は 4 領域に分けられ、第 1 領域では、上下変位する橋桁が支承を通じて橋脚コンクリートに引っ張り力を与えることを示し、第 2 領域では、圧縮力を与えることを示す。図 - 7 には合力 P の角度と梁要素の変位角度間の関係を示す。図から、梁要素 No.502 が下向き ($-10^{\circ} \sim 0^{\circ}$ まで) 側で上下変位するとき、合力 P の角度はほぼ 90° と 270° の付近で分布することが見られた。これは、軸力が小さいためである。また、上向き ($0^{\circ} \sim 5^{\circ}$) 側で変位するとき、白丸点が 90° と 270° の付近に分布する以外に、 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 範囲で若干分布することを示した。これは梁要素の軸力の影響だと思われる。

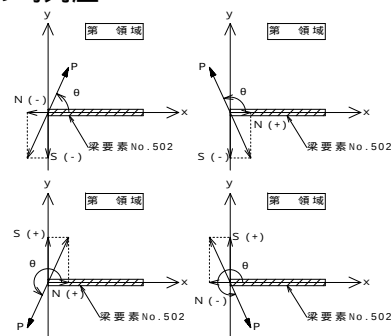


図 - 6 合力角度の分類

(5)橋脚平面要素の上下変形及び破壊 平面要素 No.218、No.212 と No.51 の上下変形ひずみ時刻歴を図 - 8 に示す。地震の発生した 1 秒後にすべての要素が引張変形することを示した。支承直下の No.218 要素のひずみは他のより著しく大きい値が示された。これは、上の橋桁の上下大変位がコンクリートに与えた引張力の影響だと思われる。また、橋脚の上部から橋脚の基礎へ引張ひずみ量が減少して行くことも認められた。これは橋脚の自重の増加に伴い、要素引張変形が減少すると思われる。帯筋の間隔の影響も見られた。下部間隔 0.15m の No.51 のひずみ値が上部帯筋間隔の 0.3m に比べて約半分減少した。破壊については、Mohr の応力円と破壊線の関係を用いて各時刻に各要素の局所安全率が計算された。結果として、支承直下にある要素 No.218 と 219 は上部橋桁の引張力の影響で初期破壊時間は 0.68 秒であった。他の要素と比べて、早く破壊した。他のコンクリート要素は地震波の 1 秒をってから破壊したが、要素自体の引張変形が許容引張変形を超えるための破壊であると思われる。

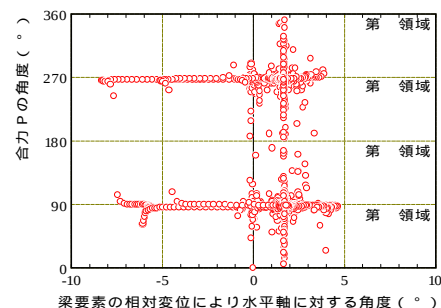


図 - 7 変形角度と合力角度の関係

4. 結論 地震波の上下動に従って、上部構造は上下方向に大きな塑性変位が起こした。上向き側で上下変位するとき、単純鋼の軸力の影響が見られた。また、RC 橋脚全体がすべて破壊と分かった。特に、支承直下のコンクリートは橋桁の引張力の影響で、早く破壊した。

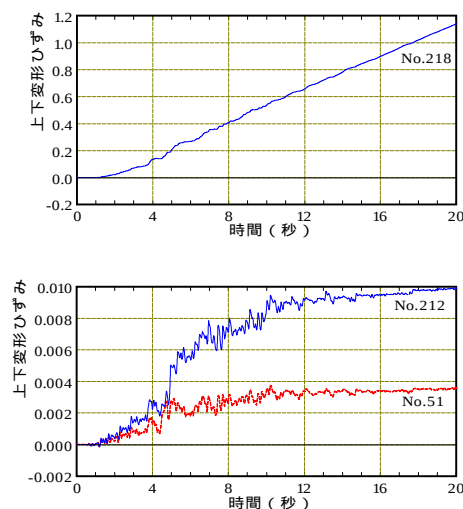


図 - 8 上下変形ひずみの時刻歴