

(I - 5) 直下型地震の上下震動によって橋桁に生じた塑性大変形が橋脚に与える影響に関する研究

千葉工業大学学部 学生会員 増田友恵
千葉工業大学学部 学生会員 佐藤利彰
千葉工業大学助手 正 会 員 謝 爽
千葉工業大学教授 フェロー 足立一郎

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は鉄筋コンクリート橋梁において橋脚の倒壊、橋桁の落下を始め、多数の橋梁で大きな被害が発生した。また、継続時間の短く、極めて大きな強さを有する上下地震動により、上部桁が地震波に従って上下起伏を起こし、桁の大変形による破壊も観察された。これに対する解明は、地震の発生以来多くの研究が行われていない。1996年12月に改訂された「道路橋示法書 V 耐震設計編」に、橋脚と上部桁の設計には上下方向の地震動に対する設計規定も考慮されなかった。さらに、桁の塑性大変形が支承部を通じて下部橋脚に圧縮力、引張力及びせん断力を与え、橋脚上部のコンクリート支圧耐力、落下防止システムの桁かかり長さなどに対する影響も明確にされていない。本研究では、既存鉄筋コンクリート橋梁を対象とし、平成7年兵庫県南部地震による地震動を用い、上下動が橋梁に作用する場合に床版スラブの大変形が橋脚上部コンクリート支圧耐力に与える影響を調べることを目的とした。現有構造解析ソフトを用い、3次元有限要素解析を行った。以下、その内容について報告する。

2. 上下地震動による解析

2. 1 既存橋梁の概要

標準構造として採用された既存橋梁の概要は図-1に示す。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11.00m、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 σ_B は21.0MPa、鉄骨はSS400を使用した。

2. 2 数値解析モデル

解析には土木建築向け3次元非線形有限要素動解析プログラムTDAPIIIを用いた。モデルはフーチング基礎上で完全固定とし、橋脚は八節点六面体要素で、床版はMindlinシェル要素で、I型鋼は非線形3次元はり要素で構成されるものとした。また、対称性によるモデルの省略を考えて、橋軸方向の半分の解析対象とした。要素分割は図-2に示した。両側にある上部構造と下部構造間の支承はそれぞれ固定、ピン支承とした。

2. 3 時間積分法と入力地震波

入力地震波は図-3に示す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。

2. 4 材料の物理特性

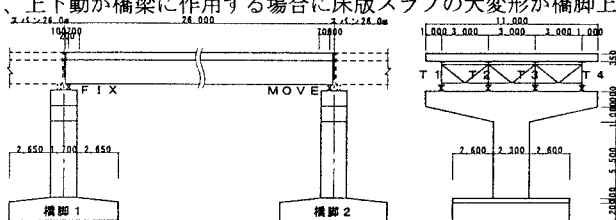


図-1 解析対象橋梁

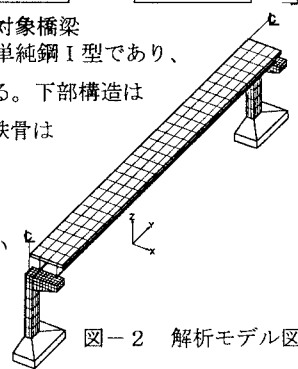


図-2 解析モデル図

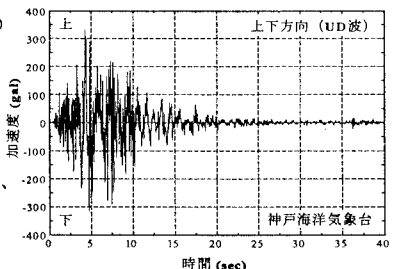


図-3 入力地震波

キーワード：上下震動、動解析、塑性変形、コンクリート支圧耐力、有限要素
連絡先：〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学土木工学科 謝 爽

鋼材の弾塑性材料特性はバイリニア型の応力－ひずみ関係として、塑性化した後の剛性は 1/200 に低下させることにした。硬化則は等方硬化を用いた。橋脚コンクリートの応力－ひずみ関係は図－4 に示す。コンクリートの破壊基準は Drucker－Prager の降伏曲面(1)式を採用した。

$$\alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \tag{1}$$

ここで、 I_1 －応力の 1 次不変量； J_2 －偏差応力の 2 次不変量

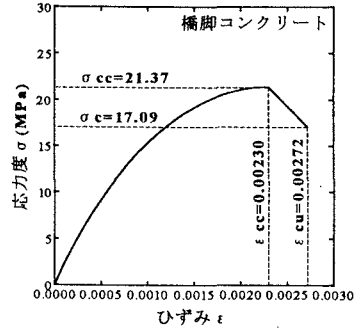
$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$J_2 = -\left(\sigma_y' \sigma_z' + \sigma_z' \sigma_x' + \sigma_x' \sigma_y'\right) + \tau_{yz}'^2 + \tau_{zx}'^2 + \tau_{xy}'^2 \tag{2}$$

係数 α 、 k はコンクリートの粘着力 c 、摩擦角 ϕ から定めることになる。

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} \quad k = \frac{6 \cos \phi \cdot c}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} \tag{3}$$

コンクリート圧縮強度 $\sigma_B=21.0\text{MPa}$ の場合には、 $\alpha=0.433$ $k=3.03\text{MPa}$ とした。



図－4 コンクリートの応力－ひずみ曲線

表 1 各次の固有周期と刺激係数

	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	7 次
固有周期(秒)	1.866	0.462	0.206	0.201	0.115	0.097	0.074
刺激係数	X	0.0000	0.0000	-0.0004	0.0019	0.0001	0.0040
	Y	-0.0007	0.0122	-0.5576	-3.7280	0.0229	2.1375
	Z	2.7869	0.0001	0.9192	-0.4296	-0.0192	-0.8197
卓越方向	Z方向	Y方向	Z方向	Y方向	Y方向	Y方向	Z方向

2. 5 解析結果

(1) 固有振動数

時刻歴解析に先立って、橋梁 3 次元解析モデルの固有振動数、固有モードを求めた結果は

一次：0.536Hz、二次：2.163Hz、三次：4.867Hzである（図5）。表 1 に低次の固有周期を示している。上下方向の卓越する固有モードが 1 次、3 次、7 次であることが分かった。

(2) 動的解析応答

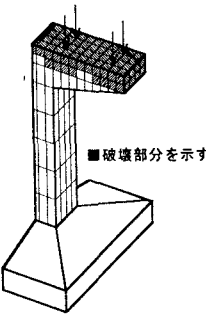
図 6 は桁スラブ中央部の上下方向変位の時刻歴である。全スパンに渡って桁スラブの上下方向最大最小変位分布を図－7 に示す。図－8 には橋脚上部コンクリート破壊状況を示す。

解析結果によれば、地震動初期の衝撃的な力で桁スラブが上下方向に大きく変形し、非線形挙動を示した。桁中央部の下向き変形は最大 1.16m、上向きは 0.50m に達した。桁が塑性状態となるため、地震動の強さに比例して変位が増大して行く傾向が見られなかった。また、橋脚上部のコンクリートも地震動の初期ですべて破壊することが解析された。

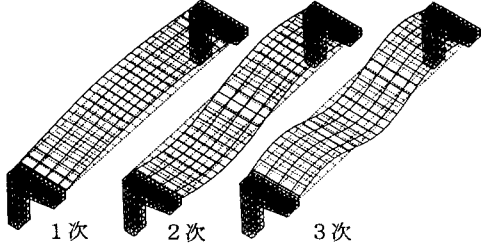
3. まとめ

既存 RC 橋梁の上下震動挙動を考察した結果：(1)橋軸直角方向より、上下方向の震動が卓越することが分かった。(2)地震動初期の衝撃の力で桁スラブには大きな塑性変形が生じ、非線形挙動を示した。同時に、橋脚上部のコンクリートが破壊する事がわかった。

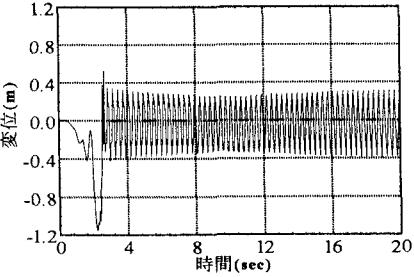
内陸直下型地震における橋脚、桁スラブの耐震設計には、上下震動の影響を考慮する必要があると思われる。



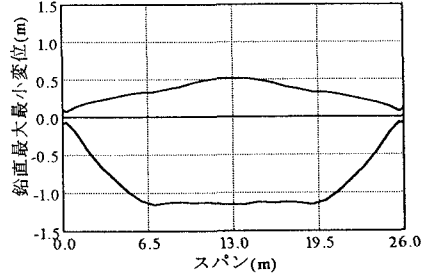
図－8 破壊モード



図－5 固有モード形



図－6 桁中央部での上下変位の時刻歴



図－7 桁スラブ上下最大最小変位分布