

1. はじめに

2003年に発生した長周期地震動である十勝沖地震では長周期構造物の大きな被害が見られ、現在危険視されている東海地震のように規模の大きい地震では、より周期が長く、強い長周期地震動が生成される可能性が高いことから長周期地震動に対する長周期構造物の安全性の検討が要求されている。一方、近年、構造物の免震化により長周期構造物化が進められている。免震構造物の被害を軽減するために、高精度な免震構造物の地震動に対する応答解析が極めて重要である。本研究では、長周期地震動が構造物に与える影響を知るために、道路橋のコンクリート橋脚に支承の違い、周期の異なる地震動といった解析条件を与えて、地震応答解析を行った。

2. 解析方法

本解析手法では対象とする構造物を節点とはり要素からなる構造としてモデル化した。この構造モデルに対して非線形解析の基本式として、増分形運動方程式を用いた。桁については線形理論を用い、橋脚については非線形性を考慮する。減衰はレイリー減衰とし、係数は基本モードでモード減衰が極小となるように定める。運動方程式の解法として Newmark- β 法を用い、パラメータ $\beta=1/4$, $\gamma=1/2$ とし、時間ステップを 0.01/10 秒とした。復元力特性については、曲げモーメント-曲率関係のバイリニアモデルを採用し、道路橋示方書[1]により求めた。また、鉄筋の拔出しを考慮するために、曲げモーメント回転角関係の回転バネを橋脚端部に設けることとする。その復元力モデルは断面の曲げ剛性と類似したモデルを用いる。

3. 解析対象とする橋梁と地震波

解析対象とする橋梁は図1に示すような単純桁橋である。橋脚高さを3段階に変化させ高いものから α 橋、 β 橋、 γ 橋とする。中央の橋脚は鉄筋コンクリート橋脚で桁を固定支承（ピン支承）、または免震支承（鉛プラグ入り積層ゴム支承）によって支持されている。両桁端部は摩擦の非常に小さいローラー支承によって支持されており、上部構造の慣性力はすべて中央の鉄筋コンクリート橋脚に伝わる構造となっている。（図1）また、地震波は比較的長周期成分を含むことから長周期地震動として東南海地震波を、反対に短周期地震動として三陸南地震波を入力した。それぞれ最大化速度はそれぞれ 421.65 (gal)、317.09 (gal) である。この方法で非線形部とする橋脚の高さを3段階に変化させ、それらについて長周期地震動、短周期地震動の2種類の地震波、免震支承、ピン支承の2種類の支承をそれぞれ組み合わせ、計12ケースを対象に解析を行う。（表1）

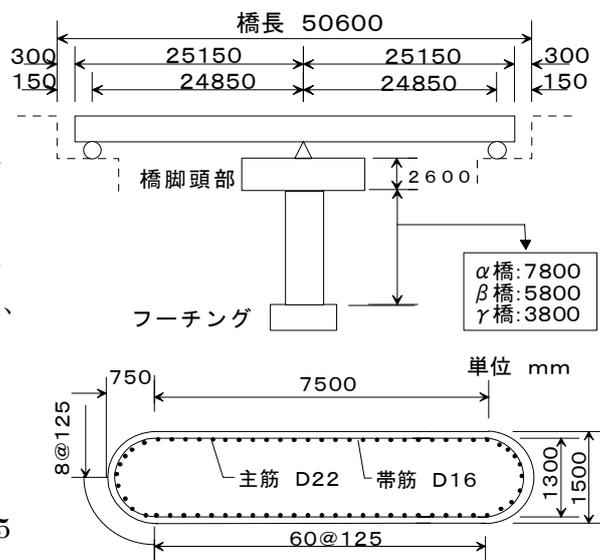


図1. 解析対象の橋梁の概要

4. 地震応答解析

本解析では、最大変位は桁部、最大曲げモーメントについては大きな値が予測される橋脚端部について検証し、せん断力については本解析で得られた曲げモーメントの勾配から求めた値を用いた。解析結果は表2に示す。

	三陸南地震波		東南海地震波	
	免震支承	ピン支承	免震支承	ピン支承
α 橋 (橋脚高さ:7.8m)	ケース:1	ケース:2	ケース:3	ケース:4
β 橋 (橋脚高さ:5.8m)	ケース:5	ケース:6	ケース:7	ケース:8
γ 橋 (橋脚高さ:3.8m)	ケース:9	ケース:10	ケース:11	ケース:12

表1. 12ケースの解析対象

表からわかるようにピン支承を用いたケースより免震支承を用いた場合の方が、最大せん断力、変位、曲げモーメントは小さくなった。2種類の地震波で比較した場合では各ケースの曲げ形態において東南海地震波は全てのケース鉄筋降伏に達しているが、三陸南地震波の場合鉄筋降伏にも至らないケースが見られた。また、地震波の振幅の大きさの影響もあるが、ほぼ全てが長周期地震動の方が最大せん断力、変位、曲げモーメントについて大きな値をとった。さらに、せん断力比、曲げモーメント比を見ると短周期地震動よりも長周期地震動での比率の方が大きいことから、その免震効果が小さくなっていることがわかる。

橋	入力地震波	支承	ケース	固有振動数 (Hz)	固有周期数 (s)	最大せん断力S(tf)	せん断力比 $S_{免震}/S_{ピン}$	最大変位 (m)	最大曲率 (1/m)	最大曲げモーメントM (tf・m)	曲げモーメント比 $M_{免震}/M_{ピン}$	曲げ形態
α橋	三陸南地震	免震	1	0.696	1.437	120.0	0.667	0.0461	0.000451	1067.00	0.657	ひび割れ
		ピン	2	2.145	0.466	180.0		0.0475	0.00288	1624.00		降伏
	東南海地震	免震	3	0.696	1.437	170.0	0.309	0.0628	0.998160	1627.00	0.998	降伏
		ピン	4	2.145	0.466	550.0		0.173	0.17250	1630.00		降伏
β橋	三陸南地震	免震	5	0.711	1.406	135.0	0.592	0.00397	0.000271	926.30	0.583	ひび割れ
		ピン	6	2.997	0.334	228.0		0.0429	0.00444	1588.00		降伏
	東南海地震	免震	7	0.711	1.406	210.0	0.702	0.0751	0.00159	1585.00	0.989	降伏
		ピン	8	2.997	0.334	299.0		0.135	0.0182	1602.00		降伏
γ橋	三陸南地震	免震	9	0.721	1.387	157.0	0.360	0.0435	0.000119	759.20	0.488	なし
		ピン	10	4.617	0.217	436.0		0.0258	0.00516	1556.00		降伏
	東南海地震	免震	11	0.721	1.387	240.0	0.444	0.0741	0.00111	1390.00	0.889	降伏
		ピン	12	4.617	0.217	540.0		0.107	0.0236	1564.00		降伏

5. スペクトル解析

入力地震波をスペクトル解析した結果、三陸南地震波では約1.9Hz、2.6Hz、東南地震波では約1.0Hz、2.3Hzの振動数が卓越していることがわかった。(図2)この波が最も卓越する時刻は、解析結果で得られたせん断力や曲げモーメントが最大となる時刻とほぼ一致していた。また、この地震波と各ケースの固有振動数を照らし合せると、β橋にピン支承を用いたケース4の固有振動数と東南海地震波の卓越周期が一致しており、最大せん断力が著しく大きくなった。

6. 結論

橋梁、支承を同条件下で短周期地震波、長周期地震波を与えると、せん断力、曲げモーメントといった部材断面力は長周期地震動の方が大きな値となることがわかった。また、支承以外の橋梁、地震波を同じ条件下としピン支承を免震支承にかえると、変位、せん断力、曲げモーメントが小さくなることが確認できた。さらに、短周期地震動において免震支承を用いた時に比べ、長周期地震動において免震支承を用いた時の方がせん断力、曲げモーメントの比率は大きくなり、その免震効果が小さくなる結果となった。また、より精度よく構造物に対して長周期振動の与える影響、地震時における長周期構造物の挙動を知るためにはデータ入力時における免震支承の表現方法の見直しなど、多くの研究余地が残されていると思われる。

参考文献

[1] 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、1998

指導教官 岩本政巳助教授

表2. 解析結果一覧

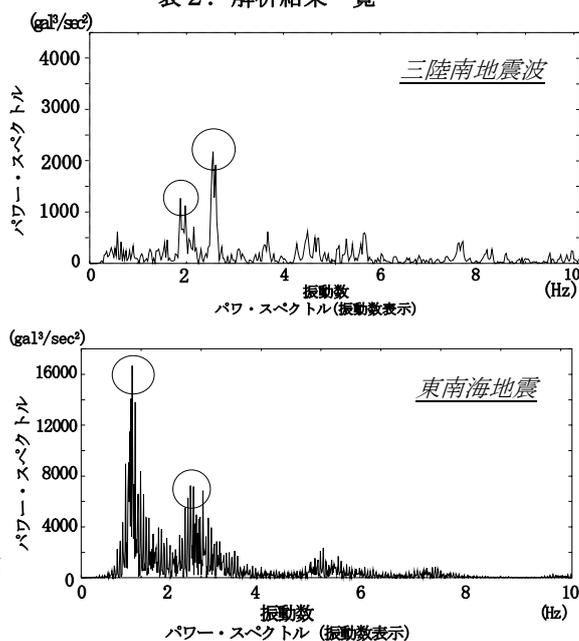


図2. 地震波のスペクトル図