

(134) 1 km級の桁長を有する超多径間連続橋の免震設計に関する研究

(株)大林組 ○後藤 洋三、 (株)神戸製鋼所 榎田 賢一
 清水建設(株) 出羽 克之、 新構造技術(株) 小室 光治
 住友建設(株) 藤原 保久、 摂南大学 頭井 洋
 日本技術開発(株) 宮原 哲、 パシフィックコンサルタンツ(株) 入澤 徹

1. まえがき

都市内高架道路に代表される多径間橋では桁間の伸縮ジョイントが維持管理のネックであり振動騒音源でもあることから、桁を連続させるノージョイント化が求められており、現在わが国では、桁長の600mの多径間連続橋が実現している。温度変化やクリープ等による伸縮量は、許容変形量の大きなゴム支承、すべり支承、可動支承と粘性ダンパーの組み合わせ、可撓性橋脚等の採用によって処理されている。一方、鉛入り積層ゴムや高減衰積層ゴムに代表される免震支承は、減衰を高めるとともに桁を水平方向に軟らかく支持して長周期化する機能を有しており、その変形特性はノージョイント化された場合の連続桁の温度変化等による伸縮を支承部で吸収するのに活用できる。

本研究では、免震支承を採用した1 kmの超多径間連続橋を試設計することによってその成立性を分析するとともに、入力地震動の位相差を考慮した動的解析を行って地震応答特性を検討した。

2. 免震設計の適用性

(1) モデル橋 鋼桁橋とPC桁橋について試設計を行うこととし、それぞれに図-1と図-2に示すモデル橋を設定した。鋼桁橋は16径間、PC桁橋は26径間で約1 kmとなる。設計条件は、橋格：1等橋 (TL-20、TT-43)、幅員：11 m、地域区分：A、重要度：1級、温度変化：PC桁±20°C、鋼桁±30°Cとした。検討を簡明にするため、橋梁線形は直線とし、地盤は橋軸方向に一様なII種地盤とした。また、桁端部はかけ違いとした。

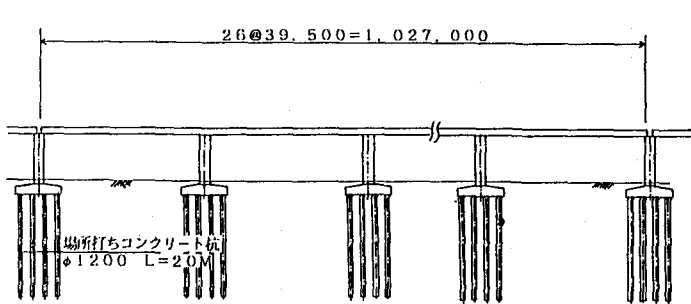


図-1 PC桁超多径間連続橋

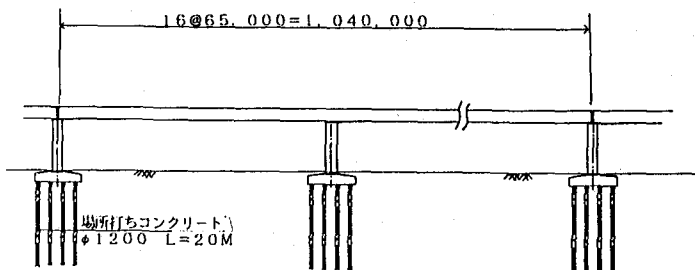
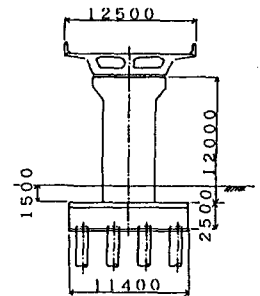
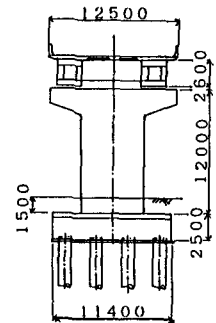


図-2 鋼桁超多径間連続橋



(2) 免震設計 設計基準には原則として道路橋示方書V耐震設計編(以下、道示)を適用し、免震設計に固有な項目については「道路橋の免震設計法ガイドライン(案)」を参照した。免震支承は鉛入り積層ゴム(LRB)によることとした。LRBの水平せん断バネは、温度変化のような緩速変形時には鉛がクリープして軟らかく、地震のような動的変形時には比較的剛となる。

表-1は設計されたLRBの諸元である。連続桁の端部の支点と中央付近の支点では支承の特性を変えている。温度等による緩速変形時の剛性は端部に向かって小さくなるよう設定してその影響を軽減し、地震時保有水平耐力照査用の入力(以下、レベル-2入力)相当の大振幅時の動的剛性は端支点で逆に大きくなるよう設定して地震応答変位が端部で大きくならないように配慮した。

PC桁橋の場合は移動支保工による分割施工(施工サイクル20日/スパン)を行なうこととし、免震装置にはクリープ、乾燥収縮による移動量の1/2を予めせん断変形として設置時に与えることとした。

(3) 解析結果 表-2は固有周期とそれに伴って定まる設計震度を示したものである。道示の震度法の地震力設定によれば周期1.3秒付近では長周期化による免震効果は明瞭に現われない。表-3は橋脚基部の曲げモーメントと支承部の相対変位を代表的な橋脚について示したものである。温度の影響による曲げモーメントは、PC桁橋の場合は震度法の27%、鋼桁橋の場合は同28%であることがわかる。一方、支承部の相対変位を端支点で見ると、震度法による変位は温度による変位より小さく押えられ、さらに、レベル-2入力の場合の変位は中間支点より端支点の方を小さく押えられた。

表-1 免震支承(LRB)諸元

橋脚番号	PC桁橋		鋼桁橋		
	P1,P27	P2~P26	P1,P17	P2~P5	P6~P12
鉛直反力 Rmax(tf)	220.	525.	318.	836.	737.
平面形状 a×b(cm)	90×90	100×100	85×85	110×110	105×105
ゴムの総厚(cm)	24.0	42.0	22.0	49.0	46.0
鉛プラグ寸法(cm)	φ20×1	φ19×4	φ20×1	φ19×4	φ19×4
降伏荷重 Q(tf)	23.5	84.0	24.5	88.5	88.5
緩速変形剛性(tf/m)	294.	286.~1300.	280.	300.~396.	466.~1134.
震度法等価剛性(%)	65.	1301.	617.	1230.	1230.
レベル2等価剛性(%)	471.	645.	446.	615.	615.

表-2 設計震度

		PC桁橋
橋軸方向	周期	1.35秒
	震度	0.25
直角方向	周期	1.31秒
	震度	0.25
		鋼桁橋
橋軸方向	周期	1.38秒
	震度	0.24
直角方向	周期	1.38秒
	震度	0.24

表-3 橋脚基部曲げモーメント(t·m) と 支承相対変位(cm)

	橋脚番号	PC桁橋		橋軸桁橋		PC桁橋		鋼桁橋	
		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
橋軸方向	温度	-	984.	-	1,055	10.3	-	17.9	-
	震度法	3,690.	3,700.	3,980.	3,820.	9.85	9.90	10.3	9.91
	レベル-2入力	14,460.	11,000.	16,100.	11,500.	55.6	58.9	62.2	62.3
直角方向	震度法	3,540	3,970	5,110	5,080	7.98	10.22	11.1	11.1
	レベル-2入力	10,740.	10,170	20,400	15,000.	39.3	52.1	65.6	68.1

3. 動的応答解析

(1) 入力地震動 1 kmの長さの連続橋の各橋脚に同じ地震波が同じ位相で作用するとは考えられない。ここでは地震波の平面的な分散の影響を簡略化して考慮するため、同一の地震波が一端から多端へ見かけ上、地表に沿って伝播しながら作用するものとして多点入力の応答解析を行った。地震波形としては道示に示されるⅡ種地盤用の標準加速度応答スペクトルにスペクトルフットさせた開北橋の記録を用いた。見かけの伝播速度は地盤に生じる平面的な歪が 2×10^{-4} 前後となるように500m/sec (3.6×10^{-4}) と1,000m/sec (1.8×10^{-4}) とした。比較のため伝播速度無限大、すなわち同位相入力の場合についても解析を行った。

(2) 解析モデル 全径間を一体としたマスバネ系でモデル化した。全自由度はPC桁橋の場合で、橋軸方向458、橋軸直角方向338である。免震装置はその履歴特性を等価な剛性と減衰性で評価した線形バネでモデル化し、地盤も同様にバネでモデル化した。PC桁橋と鋼桁橋の結果は定性的に一致したので、ここでは鋼桁橋の結果のみを示す。

(3) 固有値解析の結果 モード群は①支承上の桁の水平並進振動、②橋軸方向では桁の縦振動、橋軸直角方向では桁の曲げ振動、③橋脚の曲げ振動、に分離して現われる。各モードの周期を表-5に示す。地震波の卓越振動数との関係からみて地震応答に卓越するのは①と②のモード群である。

(4) 地震応答解析の結果 横軸を橋脚番号、縦軸を応答値にとって示したものが図-3と図-4である。また、図-5は代表的な橋脚の加速度応答値である。図中の低減衰とは、剛性は免震支承と同じであるが減衰を5%と小さく設定した支承バネを用いた場合である。

橋軸方向に注目すると、同位相入力の場合は桁部が並進モードで振動するが、位相差入力の場合は桁部はほとんど振動しないことが分かる。また、位相差入力により、桁端部の支承の相対変位がやや増加し、桁に軸力が発生する。ただし、この軸力は桁断面応力度にして100kg/cm² (PC桁橋の場合は17kg/cm²) 程度であり、設計上問題となる値ではない。支承の減衰性はこれ等の傾向にほとんど影響しないこともわかる。

橋軸直角方向の応答には位相差入力による著しい影響は現われない。桁の曲げモーメントが大きくなるが、応力度にして50kg/cm² (PC桁橋の場合は10kg/cm²) 程度である。一方、支承の減衰性の影響は大きく免震支承の減衰性(表-4参照)により応答は60%に低減されている。また、伝播速度500m/secにおいて、伝播方向の端支点で桁が比較的大きく振動する現象が認められる。桁部に地震波の伝播と同調する波動が発生し、端部に振動エネルギーが集中するためと考えられる。

4. むすび

以上の検討により、免震支承の採用により連続桁長1 kmの多径間橋の設計が可能であり、入力地震波の位相を考慮すれば橋軸方向の応答の大幅な減少が期待できること、等を明らかにした。

なお、本報告は建設省土木研究所と民間28社の官民連帯共同研究「道路橋の免震構造システムの開発」の一環として行われたものである。

表-4 主要物性値

		桁	橋 脚	
			P1, P17	P2 ~ P6
断面二次 モーメント(m ²)	橋軸加振用	0.83	6.75	7.80
	直角加振用	10.84	27.0	45.0
断面積(m ²)		0.729	9.0	15.0
減衰定数(%)		2.0	5.0	5.0
免震 支承	水平方向バネ定数(t/m)	—	1,258	2,600
	減衰定数(%)	—	21.4	26.8
低減衰支承	減衰定数(%)		5.0	5.0

表-5 モード形と固有周期

	橋 軸	直 角
① 桁並進 モード	1.38秒	1.37秒
② 桁変形 モード	0.6秒以下	1.4秒以下
③ 橋脚曲げ モード	0.25秒以下	0.2秒以下

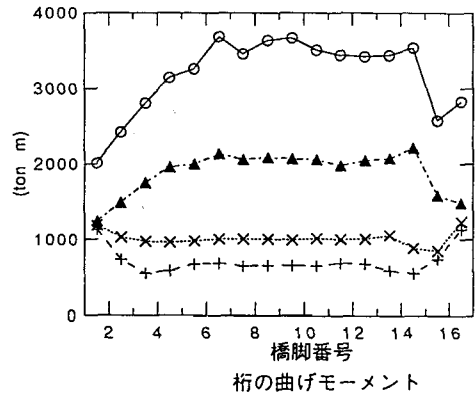
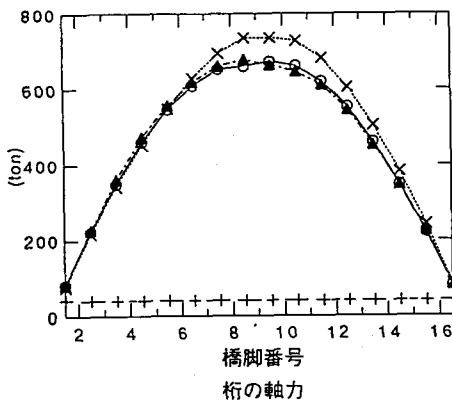
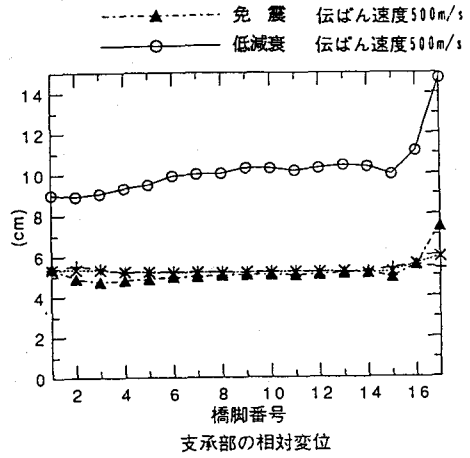
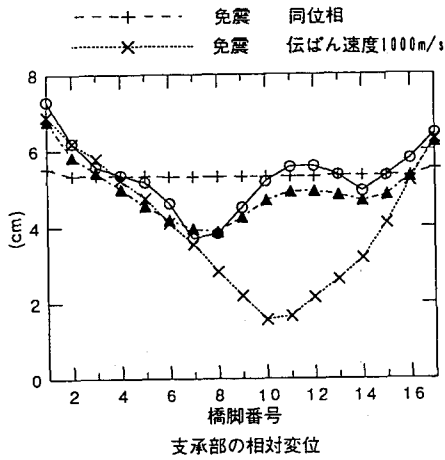


図-3 橋軸方向加振

図-4 橋軸直角方向加振

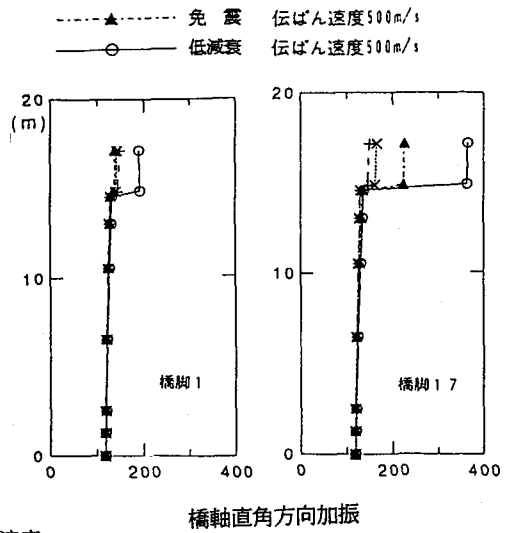
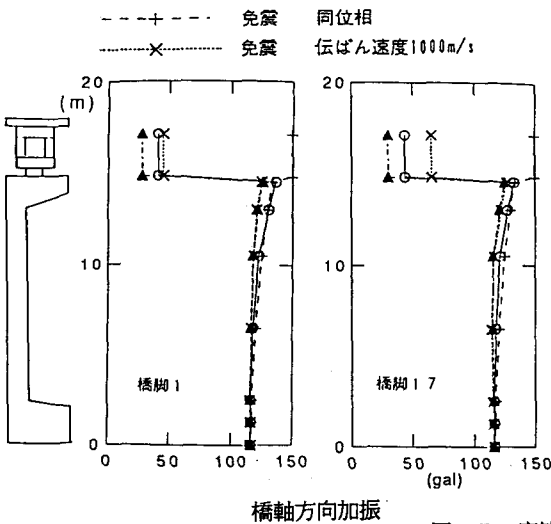


図-5 応答加速度

参考文献 土木研究所他28社：「道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書（その2）」、土木研究所共同研究報告書平成3年3月