

(121) 橋梁と地中構造物の近接構造系における動的応答特性

建設省土木研究所 正会員 大塚 久哲
建設省土木研究所 正会員 星隈 順一
(株)マエダ 正会員 山田 寿之

1. はじめに

近年、大都市を中心とした都市部では、用地条件等の制約から、道路高架橋の基礎と共同溝のような地中構造物が非常に近接して建設される事例が多くなっている¹⁾²⁾。このような近接した構造系の耐震設計においては、静的な地震力のやりとりに加えて、橋梁と共同溝の間に生じる動的相互作用にも注意する必要がある³⁾。本文では、橋梁杭基礎と共同溝の近接構造全体系を対象として動的有限要素解析を行い、その地震応答特性について検討した結果を報告する。

2. 解析対象近接構造物

解析対象とした近接構造は、図-1に示すように、共同溝が橋梁基礎の杭間を通過しているタイプである。構造諸元としては、このような近接構造が都市部に特有であることを考慮し、都市高架橋として代表的な形態のものを対象とすることにする。橋梁上部構造は、支間長40m、橋長120mの3径間連続鋼鈑桁橋とし、桁両端部が可動で、2基の中間橋脚に固定支承を有する2点固定方式の構造である。下部構造は、高さ13.5mの固定支承を有するRC張り出し橋脚とし、断面は4.0m×4.0mの正方形断面で、基礎型式は杭基礎である。地盤条件は、標準的な地盤モデルとして、道路橋示方書V耐震設計編の参考資料に示されているⅠ種地盤、Ⅱ種地盤、Ⅲ種地盤の3種類を用いた。基礎面までの深さは、それぞれ8m、19.6m、31.3mである。

一方、共同溝はRC2連ボックス構造であり、断面寸法は3.5×5.5mとした。この場合、杭と共同溝の近接距離は1.0mであり、これは杭径の1/2に相当する。ただし、本文では近接による動的相互作用のみを検討するものとしたため、近接距離に関しては一定値とした。

3. 解析条件

解析パラメータは、構造の組合せ、地盤種別、解析方向の3つとし、解析ケースを表-1のように設定した。解析では、まず近接構造物の振動特性を構造物と地盤の伝達関数を用いて検討した。これは、構造物の地震応答特性は入力地震波の特性の影響を受けるため、1地震波のみによる解析結果ではその動的影響を一般化できないためである。ただし、ここで定義する伝達関数は、入力基礎面の水平振動加速度に対する構造物各点の水平加速度の比で定義される。さらに、地震応答特性を検討するた

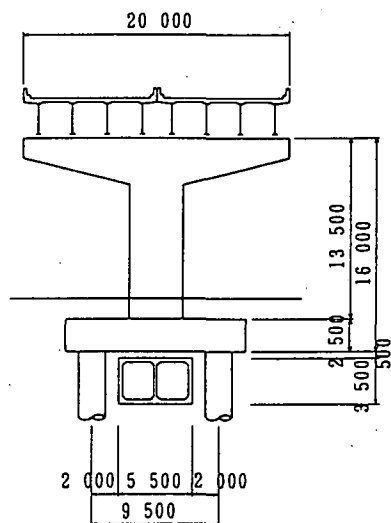


図-1 高架橋と共同溝の近接構造

表-1 解析ケース

解析ケース	構造形態	地盤条件	解析方向
1	高架橋＋共同溝	Ⅰ種	橋軸方向
2	高架橋のみ		
3	高架橋＋共同溝		
4	高架橋のみ	Ⅱ種	
5	高架橋＋共同溝		
6	高架橋のみ		
7	高架橋＋共同溝	Ⅲ種	
8	高架橋のみ		
9	高架橋＋共同溝		
10	高架橋のみ	Ⅰ種	橋 軸 直角方向
11	高架橋＋共同溝		
12	高架橋のみ		
13	高架橋＋共同溝	Ⅱ種	
14	高架橋のみ		
15	高架橋＋共同溝		
16	高架橋のみ	Ⅲ種	
17	共同溝のみ		
18	共同溝のみ		
19	共同溝のみ	Ⅰ種	橋 軸 直角方向
20	共同溝のみ		
21	共同溝のみ		
22	共同溝のみ	Ⅱ種	
23	共同溝のみ		
24	共同溝のみ		
25	共同溝のみ	Ⅲ種	
26	共同溝のみ		
27	共同溝のみ		

めに、2次元動的有限要素法による地震応答解析を行った。

本解析では、橋脚、フーチング、杭、共同溝、地盤はいずれも平面要素としてモデル化した。ここで、地盤の非線形性を考慮するために、等価線形法により解析対象地盤の等価剛性および等価減衰定数を算出した。入力地震動は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編における各種地盤条件に対する時刻歴応答解析用標準波形が、橋梁の耐震設計上の地盤面において想定した応答レベルになるように、重複反射理論で基盤面での波形に変換したものをを用いた。基盤面での加速度波形およびその加速度応答スペクトルは図-2に示すとおりである。

4. 共同溝が高架橋に及ぼす動的影響

図-3は、入力基盤面に対する橋脚天端の水平方向加速度の伝達関数について、その周波数依存性を地盤種別毎に示したものである。これより、橋軸直角方向に対しては、共同溝が近接して存在していても伝達関数の周波数特性はほとんど変化しないことがわかる。一方、橋軸方向に対しては、共同溝が近接して存在することによる伝達関数の変化が認められ、地盤条件が軟弱なほど動的相互作用の影響が大きいことがわかる。Ⅰ種及びⅡ種地盤では、共振振動数は変化していないが、伝達関数の最大値は共同溝がある方が大きくなっている。また、Ⅲ種地盤では、伝達関数の最大値は概ね等しいが、共振振動数は0.3Hz程度の差が生じており、2.8Hzよりも小さい領域では、共同溝が近接して存在する場合の伝達関数の方が小さく、逆にこれよりも高周波の領域では、共同溝の近接により伝達関数が大きくなる場合もある。

表-2は、2次元有限要素法による地震応答解析の結果得られた橋脚天端における最大加速度及び最大相対変位を示したものである。これより、橋軸直角方向では共同溝の存在による水平加速度及び水平相対変位の応答値の変化はほとんどないと言える。橋軸方向に対しては、Ⅲ種地盤上の橋脚で、共同溝が近接して存在することにより最大加速度が8%程度低減している。これは、動的相互作用が橋脚天端に生じる水平加速度を小さくするように作用したためであり、前述した伝達関数の周波数特性から判断すれば、入力地震波の地震動特性に応じて、最大水平加速度が増減することに注意する必要がある。

5. 高架橋が共同溝に及ぼす動的影響

図-4は、高架橋が近接して存在することが共同溝上床版における橋軸直角方向の伝達関数に及ぼす影響を示したものである。これより、0.5~1.5Hzの範囲において動的相互作用が顕著に表れていることがわかる。ただし、共同溝に近接して杭が存在する場合には、共同溝の振動が拘束されるため、伝達関数は小さくなっている。

表-3は、2次元有限要素法による地震応答解析の結果得られた共同溝の上床版及び底版位置における水

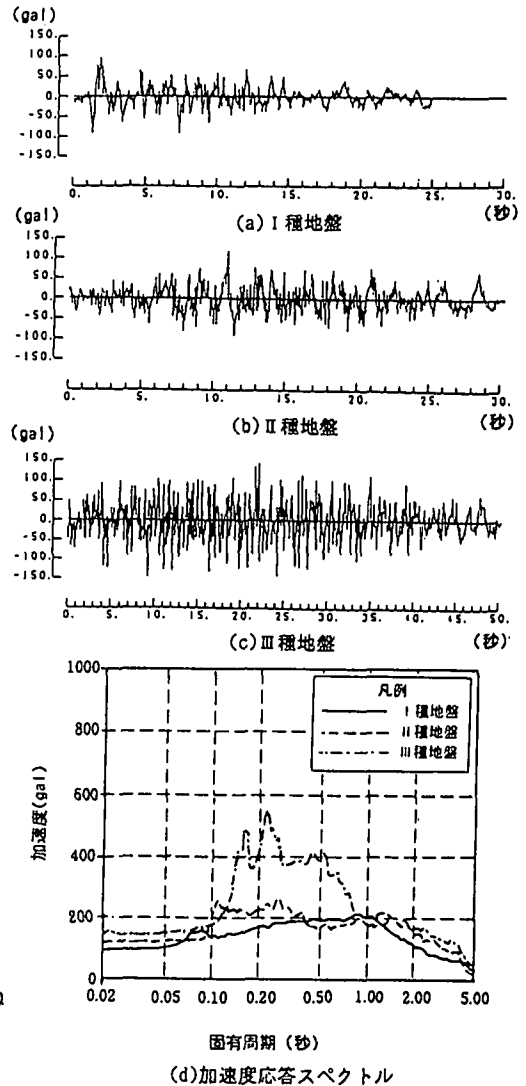
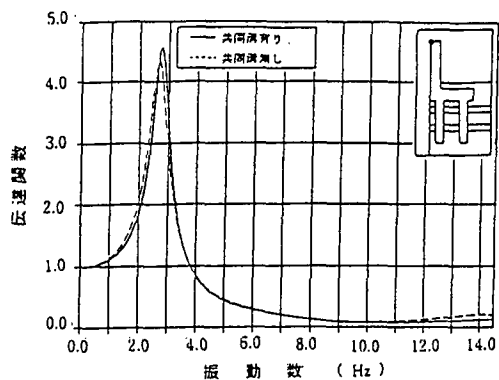
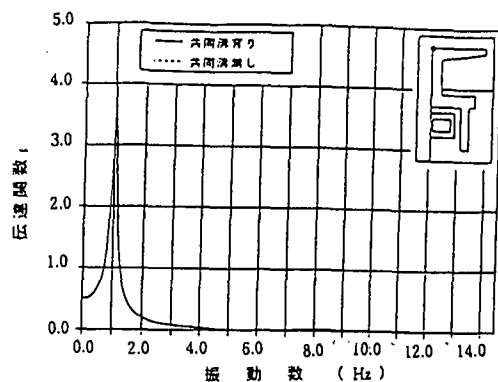


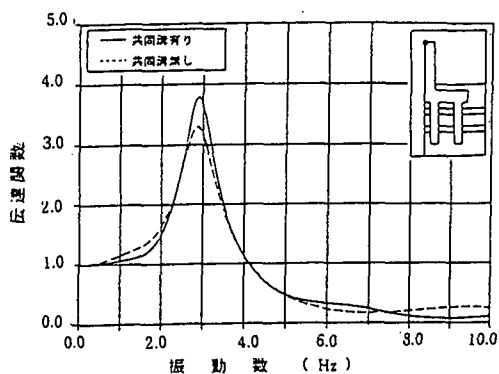
図-2 解析に用いた基盤面での入力地震動



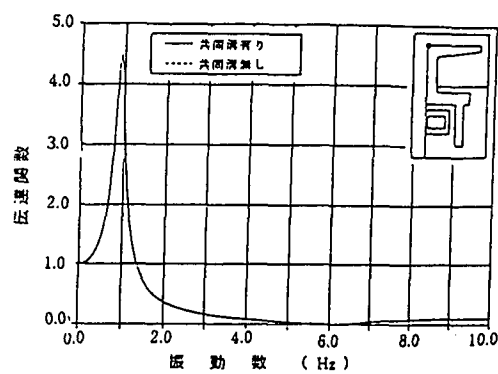
(a)橋軸方向 (Ⅰ種地盤)



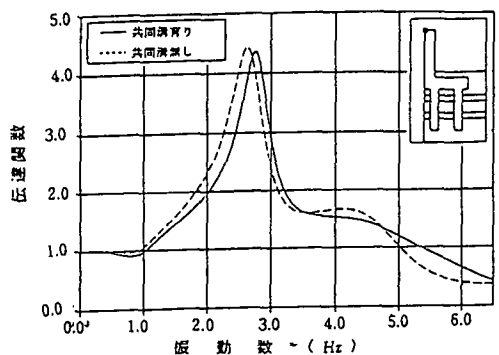
(b)橋軸直角方向 (Ⅰ種地盤)



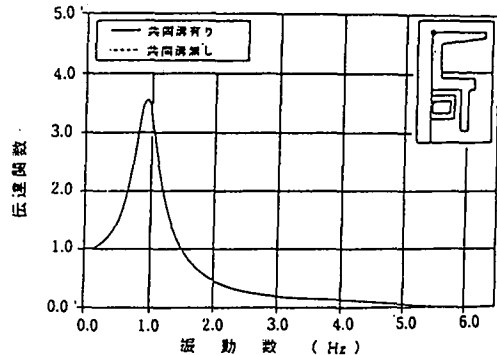
(c)橋軸方向 (Ⅱ種地盤)



(d)橋軸直角方向 (Ⅱ種地盤)



(e)橋軸方向 (Ⅲ種地盤)



(f)橋軸直角方向 (Ⅲ種地盤)

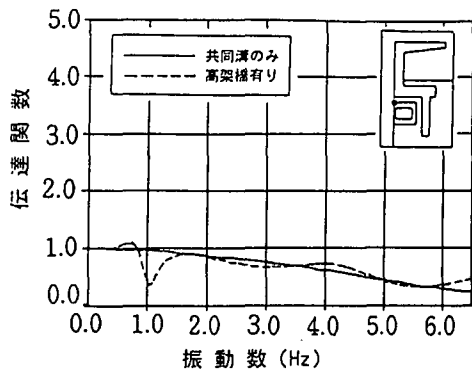
図-3 加速度伝達関数の周波数依存性

表-2 共同溝が高架橋に及ぼす影響

解析 方向	地 盤	最大水平加速度(gal)		最大水平相対変位(mm)	
		共同溝有	共同溝無	共同溝有	共同溝無
橋軸 方向	Ⅰ	162	160	6.82	6.98
	Ⅱ	173	177	12.30	13.80
	Ⅲ	239	260	34.10	35.50
橋軸 直角 方向	Ⅰ	198	199	47.30	47.50
	Ⅱ	181	181	55.10	55.50
	Ⅲ	192	193	71.10	71.60

平最大加速度と基盤面に対する水平方向相対変位を示したものである。これより、最大加速度に関しては、杭と近接することによる影響は小さいが、共同溝上床版と底版間に生じる水平方向相対変位差は3～5倍に増大していることがわかる。また、この相対変位差は、地盤条件が軟弱なほど大きくなる傾向がある。

以上の結果から判断すると、従来、共同溝の耐震設計においては、共同溝躯体の慣性力の影響は考慮しないが、ここで対象としているような杭と近接した構造系であっても、その影響を新たに取り入れる必要はないものと考えられる。一方、共同溝は線上に細長い構造物であり、一般には、横断方向の断面は耐震設計では決定しないため、この方向には耐震計算が省略されている。しかしながら、高架橋の杭基礎が近接した場合には、共同溝上床版と底版間に生じる相対変位が増幅されるので、特に地盤が軟弱な場合には、横断方向に対しても耐震性の配慮が必要になるものと考えられる。



図－4 加速度伝達関数の周波数依存性

表－3 高架橋が共同溝に及ぼす影響

地盤	照査位置	最大水平加速度(gal)		最大水平相対変位(mm)			
		高架橋有	高架橋無	高架橋有:変位差	高架橋無:変位差	高架橋有:変位差	高架橋無:変位差
Ⅰ	上床版	96	94	2.50	1.1	1.30	0.31
	下床版	90	91	1.40		0.99	
Ⅱ	上床版	102	110	10.8	2.1	8.74	0.61
	下床版	92	101	8.70		8.13	
Ⅲ	上床版	131	127	36.1	2.9	33.5	0.60
	下床版	116	119	33.2		32.9	

6. まとめ

橋梁基礎と共同溝が近接した構造系では、橋梁の橋軸方向に対しては、伝達関数で見ると、動的相互作用によりその周波数特性に変化が生じるが、橋軸直角方向に対してはそのような影響はわずかである。ただし、地震応答解析の結果から見ると、橋脚天端で生じる水平加速度や水平変位は、共同溝が近接して存在する方が小さくなった。また、橋梁基礎と近接することにより、共同溝の上下床版間に生じる相対変位差は3～5倍に増大するため、このような近接構造では、共同溝の横断方向に対する耐震性にも配慮する必要がある。

【参考文献】

- 1)川島一彦、星隈順一、長屋和宏：一体及び近接構造物の現況と耐震設計上の検討項目に関する資料調査、土木研究所資料第3219号、平成5年10月
- 2)浅沼秀弥、神長耕二、森浩樹、杉崎光義、小林延房：近接基礎設計施工要領(案)、土木研究所資料第2009号、昭和58年6月
- 3)川島一彦、大塚久哲、運上茂樹、向秀毅：基礎構造物の地震時振動特性に及ぼす近接の影響、土木技術資料Vol. 37-4、平成7年4月