

1.はじめに

日本は多くのプレートの境界上に位置し、地震活動の絶えない地域である。故にそれらの地震動によって土木構造物が被害を受けることは必然的な問題であり、それについての対策は必要不可欠である。特に橋梁の被害は河川や海峡などにより地域を隔絶し、災害時の救援や復旧作業において多くの困難を生み、地域社会や日本全体の経済活動に大きな損害を与える恐れが考えられる。最近では東海地震、東南海地震の発生が確実視されているがこれらは長周期成分が卓越している海溝型巨大地震であると言われている。そういった長周期成分が卓越する地震動に対して比較的周期の長い橋梁がどのような影響を受けるのかを検証する。

2.解析対象

本研究で解析対象とした高架橋は県道名古屋朝日線に実在する4径間連続PC箱桁橋で橋脚は矩形柱RC橋脚、橋脚の高さ約20m、橋長約150mの道路橋であり、支承は高減衰積層ゴム支承(分散支承)である。また支承を鋼製支承、免震支承に置き換えた解析も行った。

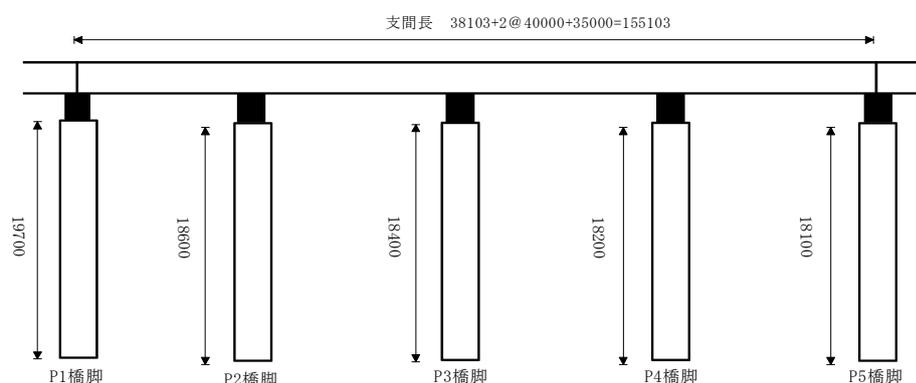


図-1 対象構造物

3.入力地震動

本研究では地震動の周期特性の影響を調べることが目的であるため、地震動の加速度は同程度であり、スペクトル解析によって調べられた卓越周期成分が長い地震動と短い地震動の組み合わせを作り、その解析結果を比較する。

4.解析方法

本研究では対象となる橋を橋軸方向の平面化し、節点とはり要素から成る構造にモデル化し地震応答解析を行った。数値解析にはニューマークβ法を用いた。構造物の減衰に関してはレイリー減衰を用い、減衰定数は0.02とした。解析対象のモデル化では、径間が連続する部分全体を対象とする。それを桁、橋脚、支承からなるものとして簡略化し、桁と橋脚横張り部は比較的剛性が大きく、損傷や変形が起こりにくいと考えられることから剛体要素を用い、主に損傷や変形が起こる橋脚柱部には非線形要素を用いた。橋脚とフーチングの境界で起こる軸方向鉄筋の抜け出しによる変位の増加現象を非線形の回転バネにより表現した。橋脚柱部の非線形要素の復元力モデルにはひび割れ限界、降伏限界、終局限界からなる曲げモーメント-曲率関係のトリリニアモデルを採用した。免震支承、分散支承には水平バネを用いて表現し、一次剛性と二次剛性を考慮した水平力-水平変位関係のバイリニアモデルを採用した。

地震応答解析では各節点における変位と各はり要素に作用する曲げモーメント、曲率が得られる。また得られた曲率と別途算定した部材の降伏曲率から塑性率、作用せん断力は解析によって得られた作用曲げモーメントの勾配から別途算定した。

5.解析結果

まず、それぞれの支承を組み込んだときの固有値解析の結果を表-4に示す。分散支承、免震支承においては

固有振動数 1.0Hz を下回っており、長周期構造物であると言える。

地震応答解析によって得られた解析結果の変位、M- ϕ の時刻歴の一例を図-2 に数値を表-3 に示す。鋼製支承ではまちまちであるが分

散支承、免震支承においては全てのケースで短周期地震動よりも長周期地震動のほうが曲げモーメント、せん断力、塑性率のいずれも大きい数値を得ていることが分かる。

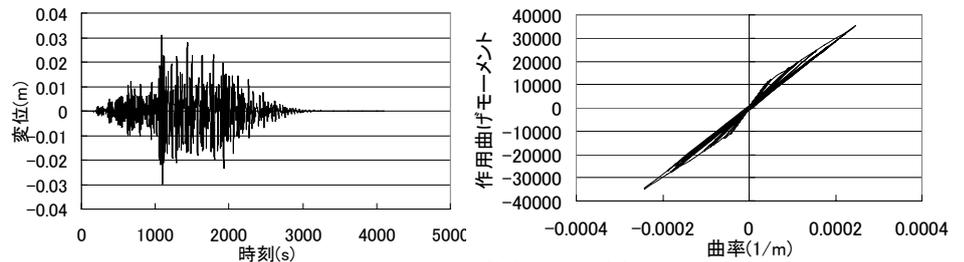


図-2 時刻歴応答の例

表-2 固有値解析の結果

支承	固有振動数(Hz)	固有周期(s)
鋼製支承	2.75	0.36
分散支承	0.67	1.5
免震支承	0.47	2.15

表-3 支承ごとの地震応答解析結果

ケース	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4		ケース5		ケース6	
地震波	根室	日本海	鹿児島(大)	十勝(青)	十勝(室)	東海	鹿児島(宮)	東南海	愛媛	兵庫	濃尾	東海東南海
鋼製支承												
M _{max} (tf·m)	18300	13080	17560	18400	18120	24700	28140	28140	28260	28260	28360	28200
塑性率	0.53	0.30	0.51	0.54	0.63	0.74	1.30	1.27	3.52	3.11	3.82	4.18
S _{max} (tf)	1164	844	1112	1164	1193	1522	1734	1803	2079	2483	1909	2329
分散支承												
M _{max} (tf·m)	6592	16320	5988	16300	9016	28100	14100	24800	14040	21652	22120	22180
塑性率	0.11	0.52	0.10	0.52	0.17	1.30	0.94	1.31	0.41	0.56	0.30	0.75
S _{max} (tf)	423	1021	465	979	576	868	953	909	1181	1362	1532	1129
免震支承												
M _{max} (tf·m)	3062	3638	4686	4882	3958	6342	9706	11520	10580	12540	12140	16140
塑性率	0.05	0.06	0.08	0.08	0.06	0.09	0.15	0.18	0.23	0.30	0.30	0.29
S _{max} (tf)	254	281	327	368	340	473	814	748	868	1183	1337	1131

分散支承と免震支承で長周期地震動のほうが大きい値を得た理由として共振が挙げられる。

そこで共振を検証するためにウェーブレット変換を用いた。データの中から東海地震のデータ为例に取った。各支承のデータは桁部の変位を利用した。この結果の一部を図-1 に示す。左が地震動のデータであり、右が

分散支承のものである。こうしたデータをいくつか比較したところ分散支承、免震支承では地震波の卓越している振動数と近い振動数、また卓越した時刻と近い時刻で卓越していることがわかった。一方で鋼製支承では振動数、時刻共にずれが生じており、短周期地震動でも振動数、時刻が近いものは無かった。よって分散支承、免震支

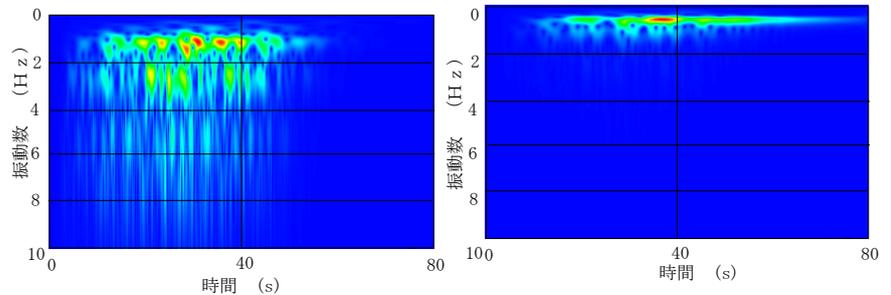


図-2 ウェーブレット変換の結果

承で長周期地震動の時大きい作用力が働くのは共振が起こっていると考えられる。

6.まとめ

解析結果よりほとんどのケースにおいて鋼製支承よりも分散支承、分散支承よりも免震支承のほうが塑性率、曲げモーメント、せん断力を低く抑えることが出来ており、橋脚への負担が少なく被害も小さくなることが分かり、間違いなく免震効果は確認された。その一方で、ほぼ同じ加速度の短周期地震動と長周期地震動を比較した際には免震支承では長周期振動のほうが作用力、塑性率ともに 10~30%ほど大きい値を得、分散支承の中には 600% も大きい塑性率の値を得て、鋼製支承で塑性率 1.0 を超えてないにも関わらず 1.0 を超えてしまうケースもあった。これらの結果はウェーブレット解析の結果より共振が原因であると考えられる。

以上より、地震動の周期特性が高架橋に与える影響は免震支承、分散支承など固有周期の長い場合に長周期地震動と共振することにより短周期地震動よりも大きい被害を生じることである。