

## (24) 地震応答解析による橋梁の地震被害機構の考察

— 地盤構造の影響 —

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 那須 誠  
 北海道旅客鉄道株式会社 及川 浩  
 応用地質株式会社 正会員 久保嘉章  
 応用地質株式会社 正会員 沢田俊一

### 1. まえがき

地震による橋梁等の構造物の被害は、構造物の種類を問わず地盤条件の不連続な場所において多く発生している。<sup>1)</sup>このことをこれまでに釧路沖地震において被害が生じた利別川橋梁をモデルとし、地震波の種類を変えて地震応答解析をおこない検証してきた。<sup>2), 3)</sup>本論ではこれまでの解析結果に新たな地震波形による解析を加えて構造物の地震被害に及ぼす地盤構造の影響について考察した結果を報告する。

### 2. 解析モデル及び解析条件

対象とした橋梁は、1993年釧路沖地震(M=7.8)により亀裂、沓の変状、落橋等の被害が生じた利別川橋梁<sup>1), 2), 3)</sup>である。図-1に想定した橋軸方向の地質断面図を示した。地盤は軟弱層厚が橋軸方向に複雑に変化する構造であり、また最上層に密度 $\rho_c$ 、S波速度 $V_s$ のやや大きな砂礫層が分布し、その下に $\rho_c$ 、 $V_s$ の小さな粘性土を主体とする軟弱層が分布している。図-2に想定地質断面図をもとに設定した解析モデルを示した。なお、橋梁の固定沓と可動沓のモデル化については、固定沓をヒンジ、可動沓をフリーとした。また橋梁部(井筒、橋脚、橋桁)は梁要素としてモデル化した。

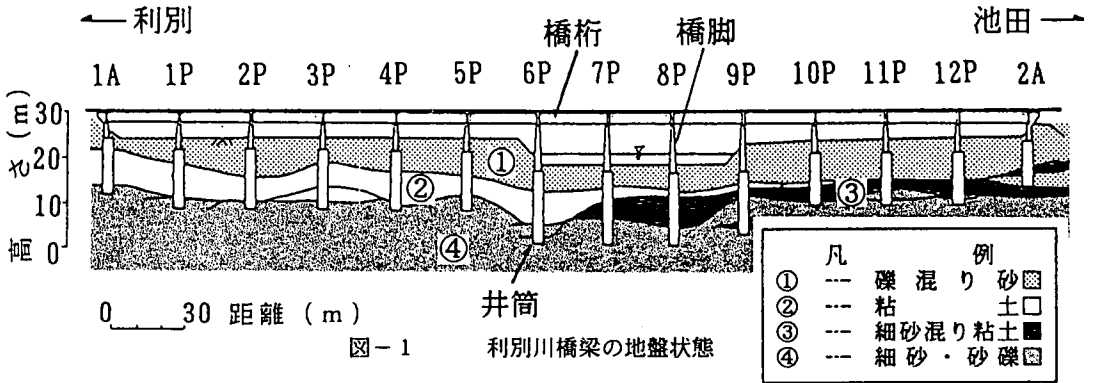


図-1 利別川橋梁の地盤状態

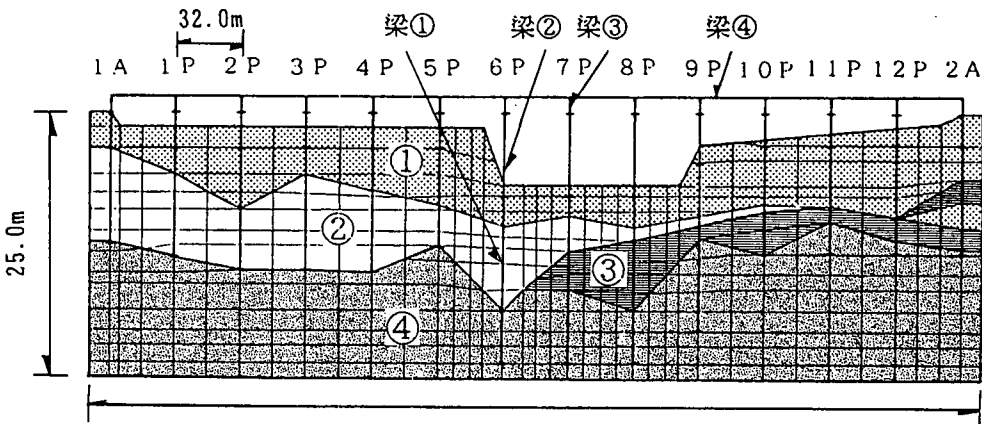


図-2 解析モデル図

表-1にモデル化した地盤、および橋梁部の物性値を示した。最下層の細砂、砂礫以浅の地盤は剛性率と減衰数との歪依存性を考慮した。また地盤モデルの境界条件は構造物等の影響により攪乱された震動を模擬的に逸散させるものとして左右両側方にエネルギー伝達境界、底面に粘性境界を設定した。入力波形には長周期成分を含む八戸波、短周期成分を含む新菊川波の他に、釧路沖地震において釧路川堤防で観測された波形を用い、最大値 $100\text{cm/s}^2$ の入射波形に調整し基盤底面を水平方向に加振する鉛直上昇波として入力した。図-3に入力波形、図-4に入力波形のフーリエスペクトルを示した。地震応答解析プログラムは地盤-構造物連成系の相互作用解析を行なう2次元有限要素プログラムSuper FLUSH/2Dである。

表-1 地盤の物性値

材料番号	土質名 部材名	密度 ( $\text{t/m}^3$ )	初期剛性率 $G_0$ (MPa)	断面積 $A$ ( $\text{m}^2$ )	$I$ ( $\text{m}^4$ )	ポアソン比
①	硬混り砂	2.00	78.5	—	—	0.45
②	粘土	1.50	33.4	—	—	0.49
③	細砂混り 粘土	1.60	41.2	—	—	0.49
④	細砂 砂礫	1.95	170.0	—	—	0.40
梁①	井筒	2.50	$9.56 \times 10^8$	7.514	4.063	0.20
梁②	橋脚下部	2.50	$9.56 \times 10^8$	2.751	0.181	0.20
梁③	橋脚上部	2.50	$9.56 \times 10^8$	1.794	0.628	0.20
梁④	橋桁	2.50	$9.56 \times 10^8$	0.503	0.269	0.20

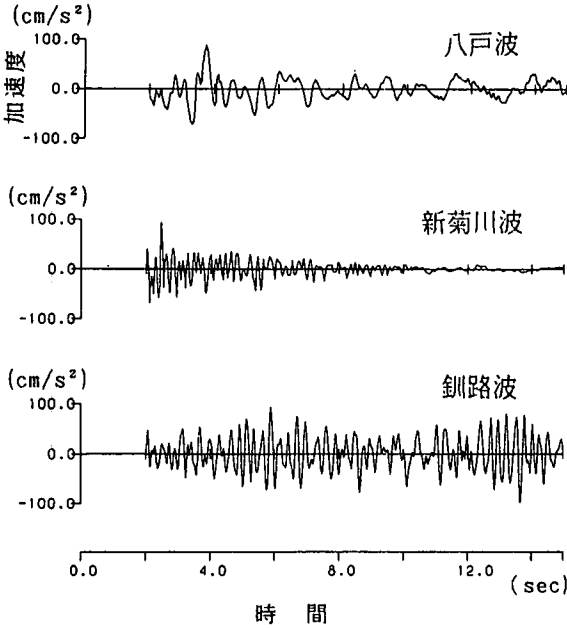


図-3 入力波形

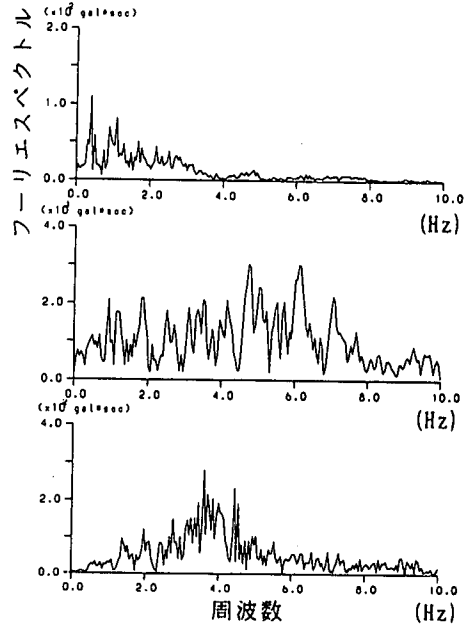


図-4 入力波形スペクトル

### 3. 解析結果

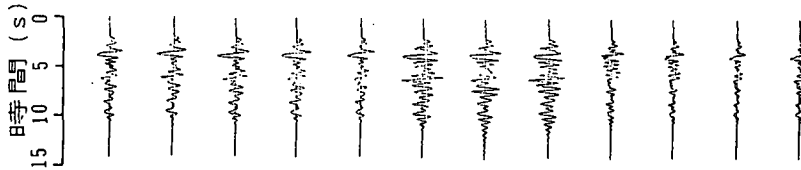
図-5に1P~12P橋脚頭部に発生する水平変位波形、及び八戸波において8P橋脚頭部が左右に最大変位するそれぞれの時刻における各橋脚の変形を示した。この図から橋脚に生じる水平変位は3地震波形全てで6P、7P、8P橋脚において大きくなっていることがわかる。しかし、実際の被害は5P橋脚で可動桁が破損し、8P橋脚においては図-6に示したように可動桁が転倒し、橋桁が落下する被害が起きている。

そこで各橋脚頭部(固定桁)と橋桁(可動桁)との変位差に着目した。図-7に橋脚頭部と橋桁端部の水平変位差の最大値を示した。この図から、5P、8P橋脚において他の橋脚より水平変位差が大きいことがわかる。

水平変位 (cm)

-5 0 5

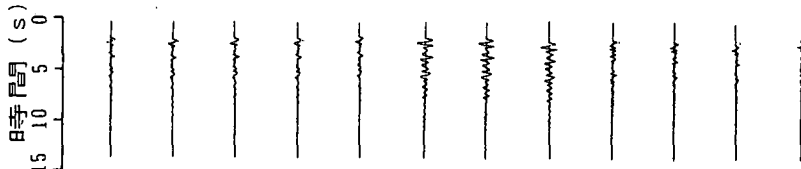
八戸波



水平変位 (cm)

-5 0 5

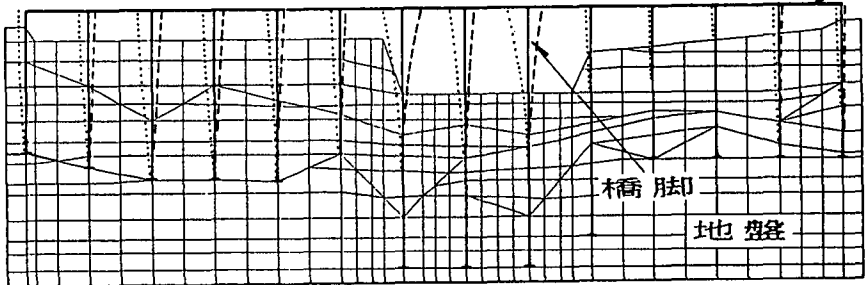
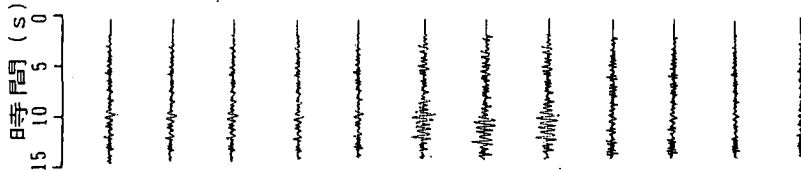
新菊川波



水平変位 (cm)

-5 0 5

釧路波



1A 1P 2P 3P 4P 5P 6P 7P 8P 9P 10P 11P 12P 2A

図-5 橋脚変形図

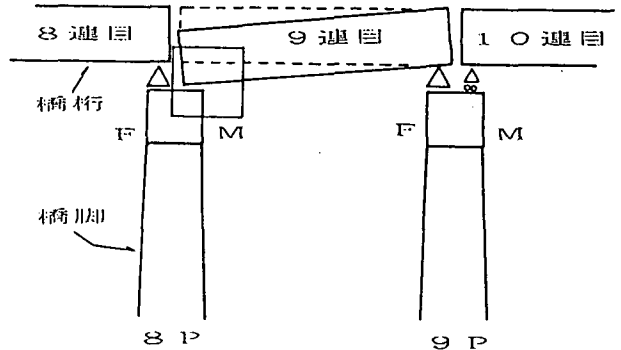
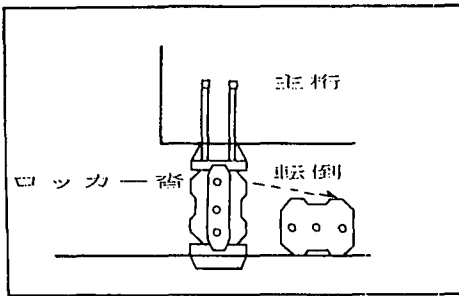


図-6 被害状況

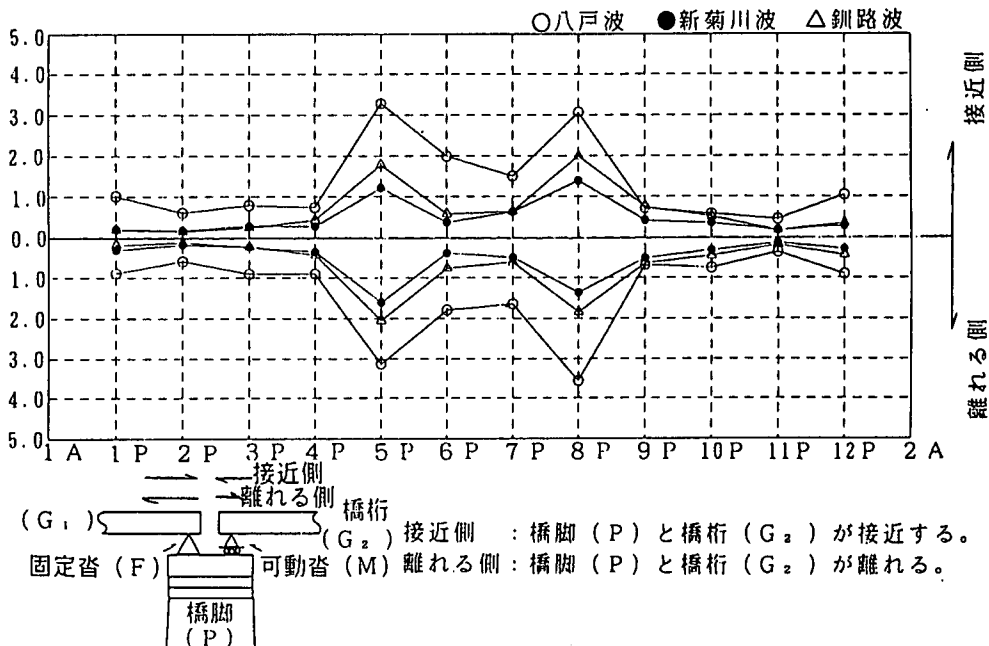


図-7 橋脚頭部(固定沓)と橋桁(可動沓)の水平変位差

これらの傾向は入力した3地震波形で現れていることから波形の特性によるものではないといえる。入力地震波形の違いによる影響を見ると、水平変位量の最大値は八戸波が最も大きく、次いで釧路波、新菊川波の順に小さくなっている。この傾向は各橋脚の変位差にもいえる。このことから、地震波形に含まれる長周期成分によって発生する変位量が大きくなるといえる。

#### 4. 結果の考察

今回の解析結果から、3地震波形のすべてにおいて水平変位差が大きくなった5P、8P橋脚直下の地盤構造に着目してみると、2橋脚はそれぞれ隣り合う6P、9P橋脚直下の地盤と比較して軟弱粘性土層厚が大きく異なっていることがわかる。また、1P~4P橋脚と9P~12P橋脚の変位量を比較した場合、橋脚の長さはほぼ同じであるが、軟弱粘性土層厚が厚い9P~12P橋脚の方が変位量が大きくなっている。このことから軟弱粘性土層厚が橋脚の変形量に影響を及ぼしていると考えられる。このように、構造物(橋脚)の直下における地盤構造が大きく異なると、隣り合う構造物(橋脚)同士の地震時応答も異なる傾向にある。この傾向は地震波形の周波数特性による違いは見られない。

今回は、特に構造物同士に発生する水平変位差が被害の直接的な要因となっていることが考えられる。

#### 5. あとがき

以上の解析結果より、地盤構造の異なる地点同士で地震時に不同変位が発生し、構造物に被害を生じさせたことが推察される。今回の解析は、地盤の構造の違いにより構造物に被害が起きるメカニズムを定性的に明らかにしてきた。今後、地震被害の予測、調査を行う際には対象構造物直下の1次元的地盤構造を把握するだけでなく、周辺の構造物や地盤を考慮した総合的な検討を2次元、さらには3次元に実施することが重要と考えられる。

#### <参考文献>

- 1) 那須 誠、高橋光昭、及川 浩：橋梁の被害形態と地盤構造からみた地震被害発生機構、H5年度応用地質学会研究発表会、pp.117~120、1993.10
- 2) 那須 誠、及川 浩、沢田俊一、久保嘉章：被害形態と地盤構造からみた地震被害発生機構(その2)、第29回土質工学研究発表会、pp.1073~1076、1994.6.
- 3) 那須 誠、及川 浩、沢田俊一、久保嘉章：被害形態と地盤構造からみた地震被害発生機構(その3)、第49回土木学会年次学術講演会、pp.632~633、1994.9.