

# 橋梁の変状と地盤の関係の考察

那須 誠<sup>1</sup>, 白井慶治<sup>2</sup>, 菊池保孝<sup>3</sup>, 三上正憲<sup>4</sup>, 平田 貢<sup>5</sup>, 日高 巖<sup>6</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 博士(工学) 前橋工科大学教授 工学部建設工学科(〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1)

<sup>2</sup>非会員 元国鉄鉄道技術研究所 主任研究員(〒185-0031 東京都国分寺市富士本3-9-13)

<sup>3</sup>正会員 西日本旅客鉄道株式会社 大阪建設工事事務所所長(〒530-8341 大阪市北区芝田2-4-4)

<sup>4</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 高崎支社工務部施設課担当課長(〒370-0841 高崎市栄町6-26)

<sup>5</sup>正会員 東海旅客鉄道株式会社 名古屋施設事務所所長(〒450-0002 名古屋市中村区名駅1丁目3-4)

<sup>6</sup>非会員 九州旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部施設部工事課担当課長(〒801-0841 北九州市門司区西海岸1丁目6-2)

橋梁の変状対策資料を得るため、既発表の鉄道関係文献をもとに橋梁変状を基礎地盤に着目して調べた。その結果、橋梁の変状が地盤条件と極めて密接な関係があり、特に不連続点等の特異な地盤条件箇所に変状が出やすく、振動・沈下測定結果に地盤条件が現れることと、上部構造の変状やシュ座の損傷に地盤条件に起因するものが多いことが分かった。このような地盤で橋梁に変状が出やすい理由を考察するとともに、変状調査では地盤調査や振動測定等を念入りに行う必要性があることを述べる。

**Key words :** Case study, Damage to bridge, Ground condition, Discontinuous site, Ground investigation method

## 1. はじめに

橋梁の洗掘等による変状対策の資料を得るため、鉄道関係の既発表文献を元に、橋梁変状を基礎地盤に着目して調べた。その際に地盤条件が明確なこと以外に特に条件をつけずに変状事例を調べた結果、その変状が特異な地盤で多く地盤条件と極めて密接な関係があることが分かった。以下に、その結果と変状対策のための調査上の注意点について述べる。

## 2. 橋梁の変状事例

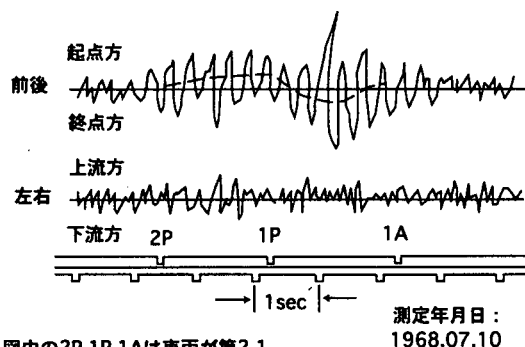
以下に、いくつかの橋梁の変形状態と地盤条件と振動測定結果、及びそれらの関係について述べる。なお、ここでは橋梁変状を基礎と地盤に着目して述べるので、橋脚と橋桁の詳細については文献<sup>1)-10)</sup>を参照していただきたい。

### 2.1 基盤が傾斜している場合

#### (1) 八高線折原・寄居間荒川橋梁

この橋梁(1934年建設)では年々流心の変化や河床高の低下、根固め工の流失等が生じた<sup>1)</sup>。図1の第1号橋脚の振動測定波形をみると、その振幅は基盤傾斜の影響を受けて左右方向に小さく前後方向に大きく、さらに明瞭な2次周期が現れた<sup>1)</sup>。この地盤状態(図2)をみると、基盤は線路方向に傾斜しその上にある

軟砂岩は節理が発達し脆弱な部分が多い<sup>1)</sup>。ホーリング調査で躯体下部のコンクリートは貧配合で下部程悪くな



図中の2P, 1P, 1Aは車両が第2, 1号橋脚と第1号橋台の通過時点を示す。

図1 荒川橋梁の1P橋脚の振動測定波形<sup>1)</sup>

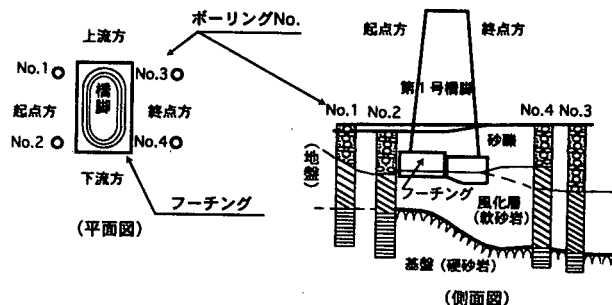


図2 荒川橋梁の1P橋脚の基礎と地盤<sup>1)</sup>

り、ホーリング掘進用循環水の逸水から局部的にセメントペーストが洗い流され、礫のみが残った状態にあるものと推定された<sup>1)</sup>。ここで、図1と図2を比べると振動振幅は基盤傾斜の影響を強く受けたことが分かる。

(2) 田沢湖線六枚沢橋梁

この橋梁では1995年に第2号橋脚の基礎が約1m程度洗掘されてフーチングが一部露出し、第1,2号橋脚上で軌道の通り狂いや桁移動が生じた<sup>2)</sup>。図3の地盤状態をみると基盤が強風化流紋岩質凝灰岩で、上層に河川堆積物の緩い粘土質砂礫層がある<sup>2)</sup>。第2号橋脚付近の基盤は急傾斜し、かつ断層及び破碎帯となっている。ここでよくみるとフーチング底面が端部のみ岩着した状態となっており、砂礫層が流水で浸食されたため変状がでたことが推定される。

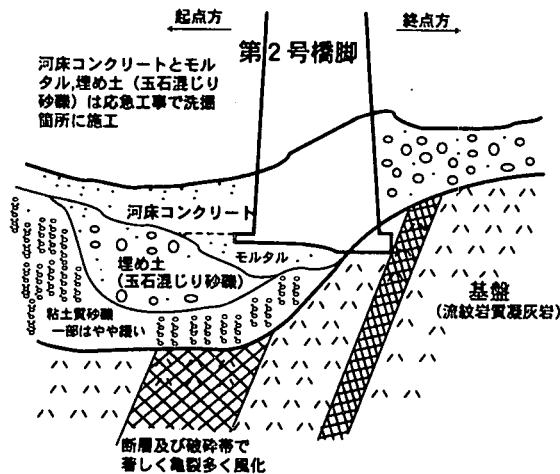


Fig.3 図3 六枚沢橋梁の基礎と地盤<sup>2)</sup>

(3) 鹿児島本線草道・上川内間麦乃浦橋梁(1922年建設, 1959年改築)

この橋梁の改築橋脚で振動・沈下測定を行った結果(表1)から振動振幅が標準値を上回り、周期が標準値内にあり、基礎の支持力不足が考えられた<sup>3)</sup>。沈下測定結果は総て川下側(内軌側)は浮上し、川上側は沈下を示した。図4のホーリング調査結果によると基盤は線路直角方向に傾き、フーチングコンクリート下部のコンクリートに部分的に材料分離やセメント流出に伴う未固結部分や

表1 麦乃浦橋梁の振動・沈下測定結果<sup>3)</sup>

項目 沈下年月日	振動測定		沈下測定	
	振幅 (mm)	周期 (sec)	単位沈下量 (mm/10000)	変位量の差 (mm)
1979.4.6	1.02	0.40	7	409
1981.7.28	1.04	0.12	-31	303
1983.1.29	0.82	0.16	28	337

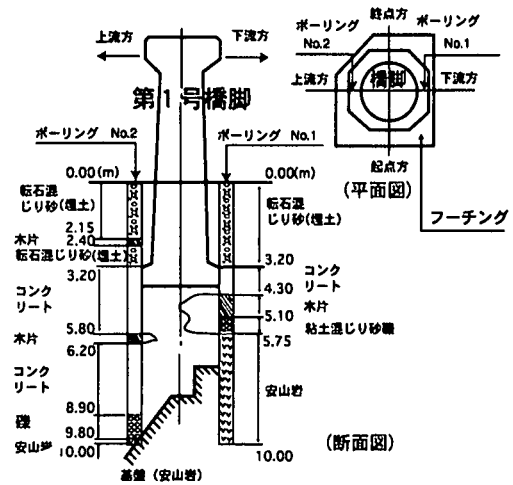


図4 麦乃浦橋梁の基礎と地盤<sup>3)</sup>

泥土及び木材の混入も多く見られた<sup>3)</sup>。以上より基礎状態が悪く、フーチングは人工岩盤(床コンクリート)を介して基盤の岩盤に完全に密着せず、その上コンクリート強度が低く基盤も傾いていたので、その結果地盤支持力に不均等が生じて橋脚が安定しないことが推察される。なお、工事記録<sup>3)</sup>をみると改築ときに岩層掘削中に地下水が大量に湧出し、基礎底面掘削作業とコンクリート打設が厳しい条件で行われており、これらのことが基礎状態を悪くしたことが考えられる。

2.2 地滑り移動層に基礎を置く場合

高山本線猪谷川橋梁(1929年建設)で可動シューのローラー逸脱、可動機能低下、シュー接触の他に、桁接触(第3,4連桁間で)、桁下フランジのび割れ等が生じた<sup>4)</sup>。橋梁周辺の地質調査結果(図5~6)から当橋梁の左岸部は傾斜基盤上の地滑り地域であることが判明し、変状原因はこの地滑り移動層の年々の移動によるものと考えられた<sup>4)</sup>。しかし、橋梁全体が地滑り土塊上にあれば変状はもっと軽かったと思われるが、その1部の1P橋脚と1A橋台の地盤がよいので不動点のようになり、他の2P~2Aが地滑り土塊上にあったので、左側に橋梁

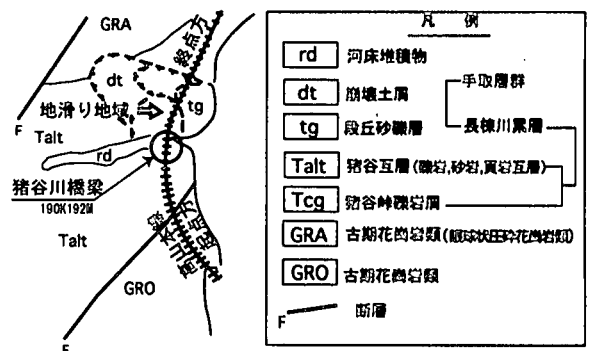


図5 猪谷川橋梁付近の地質図<sup>4)</sup>

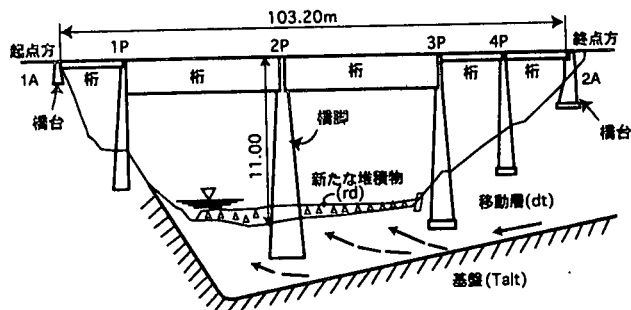


図6 猪谷川橋梁の基礎と地盤<sup>4)</sup>

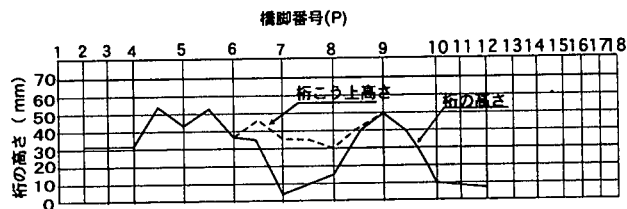


図8 相模川橋梁の桁高さの分布<sup>5)</sup>

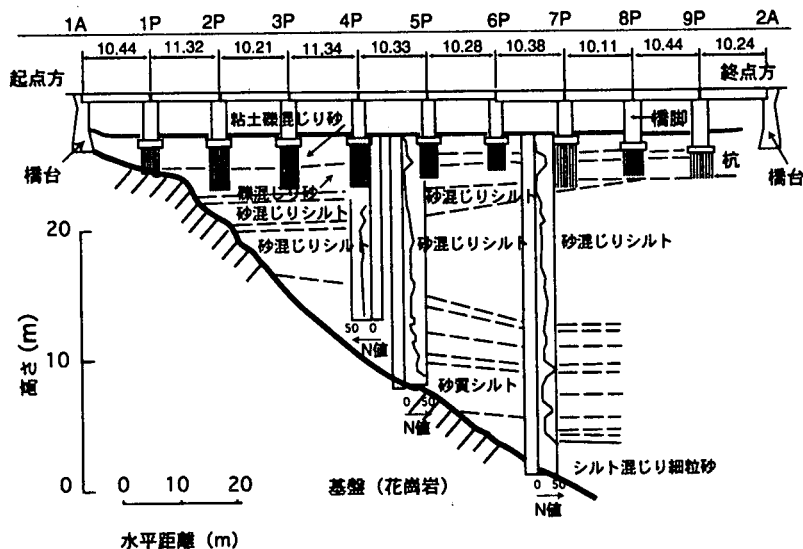


図7 第二江津橋梁の基礎と地盤<sup>4)</sup>

全体が圧縮されたように変状したことが考えられる。

### 2.3 杭の先端付近に軟弱層が存在する場合

#### (1) 三江線第二江津橋梁(1929年建設)

この橋梁では1972年頃から橋脚沈下が始まり、6P橋脚を中心に1P橋脚～9P橋脚で沈下が進行し傾斜も現れた<sup>4)</sup>。従来は桁のこう上(累計は3Pで101mm, 4Pで169mm, 5Pで218mm, 6Pで248mm, 7Pで145mm)で対処し、1992年7月にアンダーピーニング工法が施工された<sup>4)</sup>。

ここで図7<sup>4)</sup>を詳しく見ると、基礎杭とくに5P, 6Pの木杭先端部にN値極小の軟弱層が存在していることが橋脚の沈下原因と考えられる。4P～6Pの沈下量は杭長が短い程大きく、5P, 6Pが特に大きく沈下したのは、砂混じりシルト層の中間部に杭先端がある5Pよりもその層の上部に杭先端がある6Pで沈下が最も大きく生じており、両橋脚の杭

先端にN値極小の軟弱砂混じりシルト層が存在したためと考えられる。つまり、桁のこう上量と杭先端の土質をみると軟弱層への杭の根入長が小さいほどこう上量が大きいことが分かる。

#### (2) 東海道新幹線相模川橋梁(1962年建設)

この橋梁にシュアの平面性不良やシュア座コンクリートの損傷劣化、シュアの損傷、アンカーボルトの埋込み不足、桁の据え付け不良、桁の反りの不整が生じて修繕したが、何れの場合も時間的制約を受け部分的補修で対処した<sup>5)</sup>。図8に示すように桁高さに各支点で不整が見られ、変状は橋脚沈下に伴うものである<sup>5)</sup>。

ここで、図8と計画時点の地盤状況を示す図9と竣工図の図10<sup>5)</sup>を比較すると、計画時点の井筒底面深さは7本とも皆同じであるが、施工後は井筒は地盤状態に応じた長さを持つことが

分かる。それでもある井筒の沈下が進行して生じた桁高さの不整は井筒先端がN値大の洪積層Dsgに達するものと、N値小で圧縮性大きい沖積層Acに入るものがあるため生じたことが分かる。

なお、9P橋脚の数m起点寄りでレール損傷が生じたことがある。この付近のレールには波状磨耗が多い。図8～

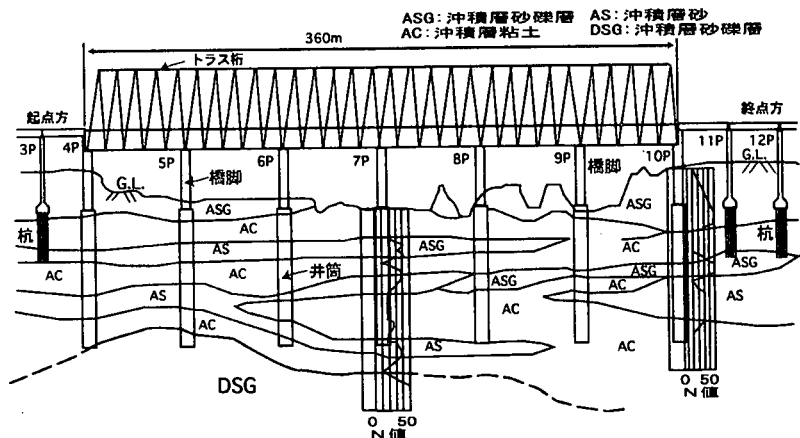


図9 相模川橋梁の計画時点の基礎と地盤<sup>5)</sup>

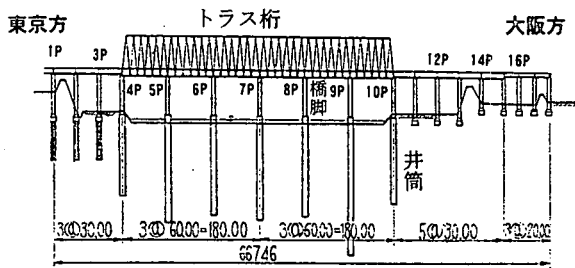


図10 相模川橋梁の竣工図<sup>5)</sup>

10をみると9Pをピラーとする山型の橋脚沈下形状が現れたが、それは損傷箇所近くの9Pの井筒底面は強度大の土層に根入れされて沈下が無く、その両隣の井筒先端が圧密層に入っていて沈下が比較的大きく生じたためと考えられる。つまり、硬軟地盤境界部と考えられる位置でレール損傷が発生したが、ここでレールに大きい軸力やモーメント等が生じることが考えられる。

#### 2.4 基礎の一部のみが岩着する場合

##### (1) 北上線第一黒沢川橋梁

この橋梁の流心部の2P橋脚周辺で、1964年に根固

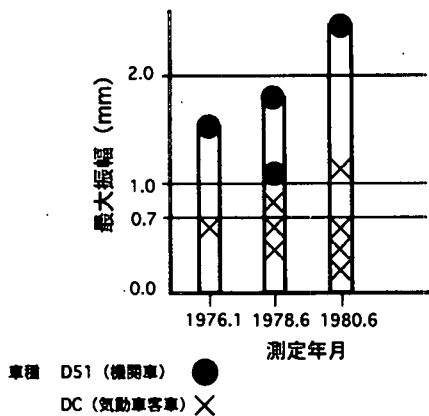


図11 第一黒沢川橋梁の2P橋脚の振動沈下試験結果<sup>6)</sup>

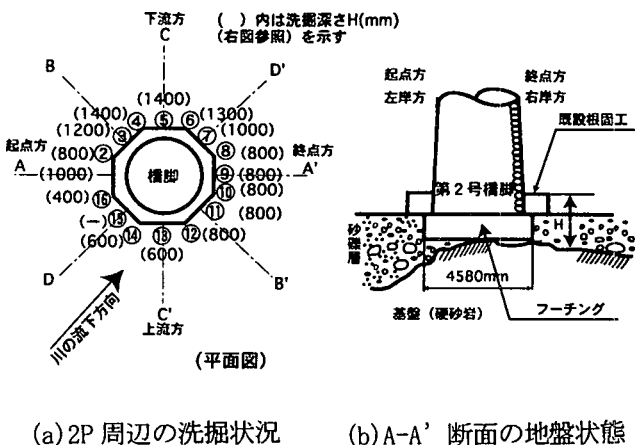


図12 第一黒沢川橋梁<sup>6)</sup>

果を示し、1978年、1980年と振幅が急速に増えたことが分かる<sup>6)</sup>。また、沈下試験でも単位沈下量差が60/10,000と甚だ大きかったため再度根固め工が施工を施工した後も洗掘が進行して1975年頃に根固工の底面まで達したが、その後河床は昇降した<sup>6)</sup>。図11は振動沈下試験を2年周期で継続測定してきた結工された。1964年の根入れ調査で基礎地盤は中硬質砂岩で基礎下では、風化して軟質となったが岩着するものと判断された。しかし、その後の根掘り調査による2P周辺の洗掘状況とA-A'断面の地盤状態を示す図12(a)~(b)<sup>6)</sup>によると、下流方の洗掘が大きく基礎は右岸から延びる尾根状の岩脈に乗り、岩着は基礎底面中央部分60~70%程度であることが分かった<sup>6)</sup>。

##### (2) 高山本線第七益田川橋梁

この橋梁では振動試験結果から5P橋脚の根入れ調査が実施された<sup>7)</sup>。この結果、5Pは岩着構造物とされていたが、その底部は図13のように岩着部分もあるが一部が径約50cmの転石上にあり、岩盤と転石の間には厚さ80cmの細砂層があって安定度が低い状態にあることがわかった<sup>7)</sup>。前記の橋梁と同じように、このような堆積条件では細砂層内の砂は水で流出されやすいことが考えられる。

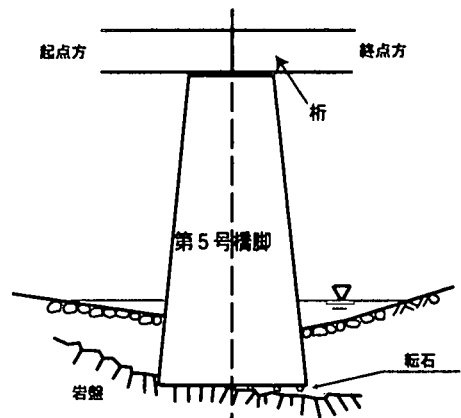


図13 第七益田川橋梁の基礎と地盤<sup>7)</sup>

#### 2.5 急勾配の河床から基盤までの地質が砂礫からなる場合

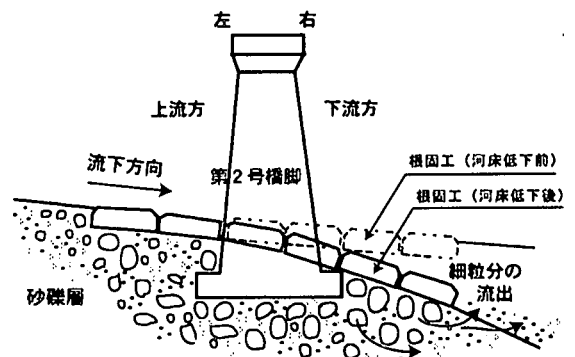


図14 第二平川橋梁の2P橋脚付近の地盤<sup>8)</sup>

測定年月日	出水前 1980年6月7日	出水後 1981年7月4日
試運転列車	2428	6003
運転速度	60KM/H	68KM/H
編成両数	4	10

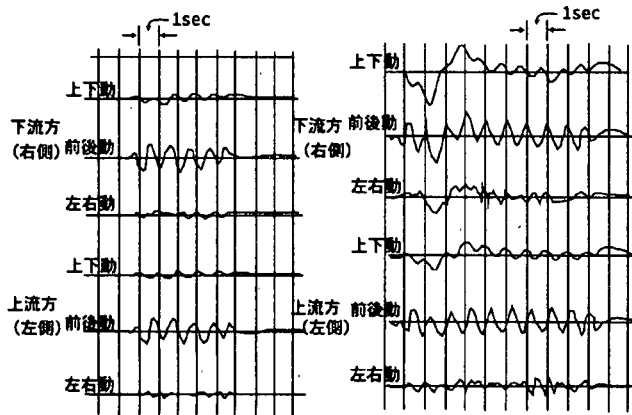


図15 第二平川橋梁の2P橋脚の振動測定波形<sup>8)</sup>

大系線飯森・白馬間第二平川橋梁の2P橋脚は図14に示すように玉石混じり砂礫層につくられ、その層の上面(河床)は急勾配である<sup>8)</sup>。また、図15に示すように河床低下に伴い橋脚の振動波形に変化が生じた<sup>8)</sup>。振幅と周期、単位沈下量はそれぞれ出水前の0.20mm, 0.10sec, 52/10,000から出水後の0.28mm, 0.10sec, 39/10,000となり、振幅は僅かに増加した程度であるが、振動の2次周期に基線のずれが大きく現れ、これは基礎部にある砂礫中の細粒分の流出により地盤反力が不均等になったためと考えられた<sup>8)</sup>。上流側(左)の波形より下流側(右)側の波形が大きくずれており、下流側の地盤がより弱化しているものと推定された<sup>8)</sup>。

### 2.6 基礎が地盤条件の急変部にある場合

東海道本線富士川橋梁(1889年建設)が存在する富士川は1/250の急勾配河川で、洪水毎に河床低下による洗掘を受け、その都度ブロック等による根固め工の補強を繰り返してきた<sup>9)</sup>。1982年の台風10号による過去最大の流量14,400m<sup>3</sup>/sの洪水によって、図16(原図<sup>9)</sup>を追加修正)に示す下り線橋梁の4P橋脚が根固めブロック流失から河床低下等により倒壊し、前後の橋桁2

連も同時に流失した<sup>9)</sup>。

その橋脚倒壊は川の流下方向とほぼ直角な終点方向に生じた<sup>10)</sup>。平行に設置された上下線橋梁の内、下り線橋梁の井筒基礎<sup>9)</sup>が洗掘被害を受けたが、無被害の上り線橋梁の建設は比較的新しく(1956年竣工)、その4Pの井筒先端は岩着する<sup>10)</sup>。ここで図16の地盤条件図をよくみると、倒壊した4P付近は基礎形状の急変部で、砂礫層と角礫凝灰岩の境界部に当り、その橋脚基礎は前者即ち岩盤と比べて相対的に軟らかく透水性が大きく浸食されやすい砂礫層に設置されていることが分かる。

このように基礎地質の急変箇所洗掘が大きく生じたのは、そこでは一様土質の地盤と違って洪水時に流線が集中して著しく水の流速が大きくなったり、砂礫層中の浸透水の流れる部分が厚いと薄いとこの境界部で乱流が生じたりして土砂が流失するため、あるいは流衝部(攻撃地形)で土砂が侵食されやすいため等と推察される。

### 3 橋梁の変形状態と地盤条件等のまとめと考察

一般に、橋梁の災害や変状の発生要因として、河床が砂質土であることや河床勾配が急であること、洪水水位が高いこと及び基礎根入れが浅いこと、基礎の構造材質が低品質のコンクリートからなること、基礎地盤が軟質であること等が挙げられる<sup>11)</sup>。しかし、今回の調査から橋梁の災害や変状発生には、次のような特異な地盤条件が関係することも分かった。

- (a) 橋脚等の下部の基礎面が急変すること。
- (b) 地滑り層移動層に基礎を置くこと。
- (c) 杭等の先端に極軟弱層が存在すること。
- (d) 基礎の岩着が一部のみであること。
- (e) 河床が急勾配で全般的に砂礫からなること。
- (f) 地盤に急変箇所が存在すること。

さらに事例を詳しくみると、橋梁基礎の先端部が軟弱粘土層とそうでない土層に跨がって設置されているとき、あるいは橋梁が硬地盤と軟地盤に跨るとき、地すべり移動層とそうでない土層に跨ると

き等に橋梁に変状が出やすく、即ちいずれの場合も地盤条件が不連続で異種支持地盤状態に設置されているときに、特に変状が出やすいことが分かる。

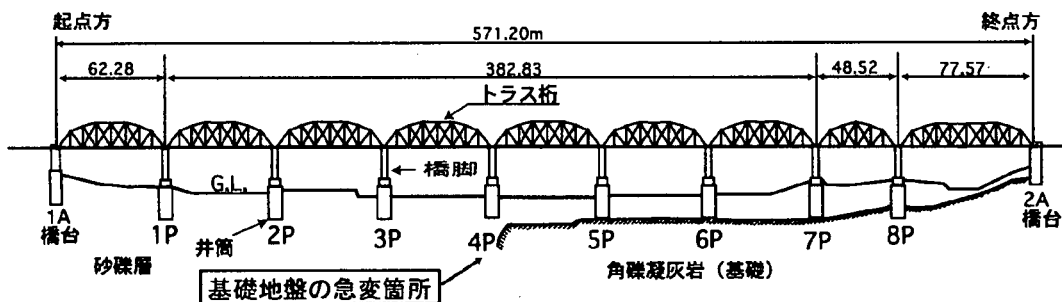


図16 富士川橋梁の基礎と地盤(原図<sup>9)</sup>を追加修正)

このような地盤条件の位置で橋梁が変状しやすい主な理由として、橋梁が異種支持地盤状態にあるときは、不同沈下や不同水平変位が出やすいこと、あるいは砂礫地盤と岩盤の境界部では砂礫層が岩盤よりも河床上の流水だけでなく浸透水でも浸食されやすいこと等が考えられる。

一方、上部構造の変状ではプレストレス導入の不足、過大荷重、鉄筋の不足、施工不良などが原因といわれ、シュー座の損傷の原因についてもドライパッキンの施工不良、支点上の応力集中にあるとされることがある<sup>12)</sup>。しかし、これらは下部構造が健全である場合に言えることである。今回の事例のように変状が橋台・橋脚等の下部構造の沈下、傾斜、移動によることがあり、これらの沈下や傾斜、移動は地盤条件に起因することが多いと考えられる。なお、その他の原因として近接工事や潮の干満の影響等が考えられる<sup>12)</sup>。

#### 4 変状対策のための調査上の注意点

以上の調査結果から判断すると、橋梁の災害や変状が地盤条件に起因して発生していることが多く、詳細な地盤調査や振動測定を行えば分かると思われる。例えば、シュー座が損傷される場合、地盤に起因する上部構造と下部構造の相対的変位がシュー座の損傷となるのであって、必ずしもシュー座自体の施工不良等がその原因ではないと考えられる。

変状橋梁の調査に4つの振動沈下測定例も示したが、その結果には振動・沈下状態に特異な地盤条件等が大きく現れた。このような地盤条件では振動振幅が増大したり波形の片側のみが大きく非対称であったり2次周期が現れたり、沈下測定値には浮き上がり現象や変位量の差となって現れたりした。

また、今回の事例調査結果から、橋梁の変状対策のための調査においては単にその表面に現れた現象だけにとらわれることなく、まず地盤条件を明らかにすることが特に大切であると考えられる。従って橋梁の変状対策のための調査に当たっては、建設時の記録や保守時の記録をもとに、さらに地盤調査を行って地盤条件を明らかにすることが特に大切である。取り敢えずの応急処置はともかく、上部構造や支承部

の補強・補修はその後ですべきものとする。

#### 5 結論

以上の調査から橋梁変状には地盤条件が大きく影響すること、特に地盤条件の不連続点で変状が出やすいことが分かった。そのため変状調査では地盤調査や振動測定等を念入りに行うことが必要である。

一般的に洗掘現象等の解明では一様地盤を考えることが多いので、今後地盤条件の変化点という観点から解析や実験を進めて現象解明を行う予定である。なお、以上の被害箇所はその後に対策が施工されており同様の変状は生じないものとする。

#### 参考文献

- 1) 高橋恒男: 橋脚の健全度診断について、八高線折原・寄居間荒川橋りょう1号橋脚の健全度診断について、第1回建造物検査技術講演会記録, pp. 192-201, 国鉄施設局, 1969.
- 2) 田口均, 安東豊弘: 田沢湖線六枚沢橋りょう橋脚洗掘災害, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 34, No. 6, pp. 30-32, 1996. 6.
- 3) 宝満厚氏: 鹿児島本線草道・上川内間表乃浦橋りょうの変状と対策について、昭和61年度建造物検査技術講演会記録概要, pp. 101-109, 日本鉄道施設協会, 1986. 10.
- 4) 西日本旅客鉄道株式会社社内資料, 1994. 11.
- 5) 安井信一, 水野一彦: トラス沓座の補修(1)〈東海道新幹線相模川橋梁〉, 鉄道土木, Vol. 21, No. 9, pp. 15-19, 1979. 9.
- 6) 工藤治一: 橋りょう下部工の健全度判定における振動沈下試験の位置付けについて、第13回建造物検査技術講演会記録, pp. 269-280, 国鉄施設局, 1982. 6.
- 7) 高木義信: 高山本線川上川橋りょうの橋脚根入れ調査と対策について、昭和63年度建造物検査技術講演会(土木関係)記録概要, pp. 15-22, 日本鉄道施設協会, 1988. 11.
- 8) 元村義徳: 振動沈下試験について、第14回建造物検査技術講演会記録, 国鉄施設局, pp. 135-146, 1983.
- 9) 筑摩栄, 坂上晃, 大倉一朗: 東海道本線富士川橋りょう河床洗掘対策工, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 29, No. 6, pp. 37-42, 1991. 6.
- 10) 野口達雄, 村石尚: 東海道本線富士川橋りょう対策技術委員会報告, 鉄道土木, Vol. 26, Vol. 3, pp. 49-54, 1984. 3.
- 11) 例えば, 野沢太三, 森重龍馬: 土木構造物の問題点と対策, 吉井書店, 1987. 2.
- 12) 例えば, 那須誠, 村山雅史, 寄田悦夫, 白井慶治: 構造物の変状と地盤条件の関係-事例研究-, 第30回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1575-1578, 1995. 7.

### A case study on the relationship between damage to bridges and ground condition

Makoto Nasu, Keiji Shirai, Masanori Mikami, Yasutaka Kikuchi,  
Mitsugu Hirata, Iwao Hidaka

We have made a case study regarding a relationship between damage to bridges and ground conditions based on various reports in the engineering literature. This report describes the following two respects. Namely, the first one is that damage to bridges is very closely related to the condition of the ground on which they rest. The other one is that precautions are required in the ground and vibration investigation for prevention of damage to bridge.