

1995年阪神大震災によって生じた橋脚基礎から放射状に伸びる地盤亀裂の発生原因について

田蔵 隆¹・佐藤正義¹・真野英之²

¹正会員 工博 清水建設(株)技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

² 工修 清水建設(株)技術研究所

1995年の阪神大震災による橋梁基礎の被害調査報告書において、被災した橋梁基礎の端部から地盤亀裂が放射状に伸びるように発生していたことが示されている。この放射状に伸びた地盤亀裂の発生原因に関して、簡単な土槽実験と数値解析から、それらは護岸の崩壊に伴う護岸背後地盤の前方移動によって生じたものであり、橋脚の背面から流動化した地盤が大きな力を伴って作用したために発生したものではないことを明らかにした。

Key Words : *The 1995 Great Hanshin Earthquake, Ground fissures, Soil liquefaction, Lateral spread induced by soil liquefaction*

1. まえがき

1995年の阪神大震災による橋梁基礎の被害調査報告書¹⁾において、地盤亀裂が被災した橋梁基礎の端部から放射状に伸びるように発生していたことが示されている。調査報告書では、このような地盤亀裂が発生した原因は、液状化によって地盤が側方に流動し、橋脚がそれに伴う側方流動圧を受けて水路側に移動したためと考察されている¹⁾。

阪神大震災では側方流動が構造物の被害を激化させた主たる要因として注目されており、側方流動のどのような現象が被害を大きくしたのか、その力学的メカニズムの解明が緊急の課題となっている。こ

のような地盤亀裂が注目されるのは、その理由からである。

本研究報告では、放射状に伸びた地盤亀裂の発生原因に関して、簡単な土槽実験と数値解析から、それらは護岸の崩壊に伴う護岸背後地盤の前方移動によって生じたものであり、流動化した地盤が大きな力を伴って橋脚の背面に作用したために発生したものではないことを明らかにした。

2. 基礎から放射状に伸びる地盤亀裂

図-1は、「西宮港大橋」の甲子園浜側の橋脚基礎の周辺地盤に見られた亀裂のスケッチ²⁾と写真¹⁾であ

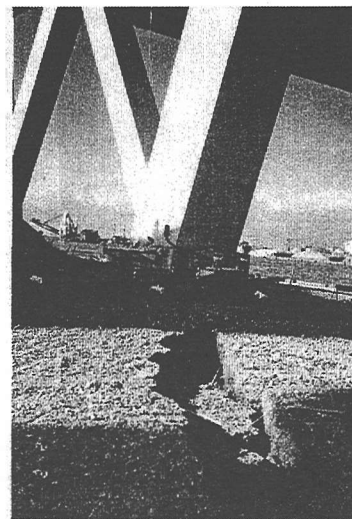
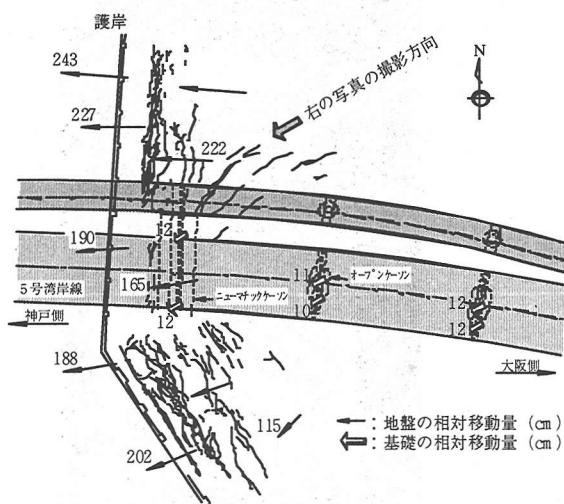


図-1 1995年阪神大震災における西宮港大橋の甲子園浜側橋脚の基礎周辺で見られた地盤亀裂²⁾
(右の写真は文献1からの引用)

る。護岸の背後には護岸に平行する亀裂が発生しており、さらに橋脚基礎の背面地盤には放射状に伸びた亀裂が確認できる。

放射状に伸びた地盤亀裂は、阪神大震災によって被災した他の橋梁の周辺地盤でも確認されており、また遠心模型による振動実験でも確かめられている³⁾。

3. 放射状に伸びた地盤亀裂発生原因究明のための土槽実験

基礎の端部から放射状に伸びた地盤亀裂の発生原因究明のために、きわめて簡単な土槽実験を行った。図-2は、土槽実験モデルについて示したものである。土槽の内部寸法は、90cm(長さ)×30cm(幅)×30cm(高さ)であり、中央から少しずれた位置に8本杭の杭基礎模型を、杭先端を完全に固定して設置した。矢板式護岸を模擬したプラスチック板を、土槽の片方の端部から24cmの位置に設けた。地盤は湿潤状態の8号珪砂で作成した。実験は、護岸の前面移動に伴う地盤崩壊を模擬することを目的に、以下のようにして行った。

土槽の端部(図中のaとa'をクレーンで吊り上げた状態で、矢板を前面にお辞儀をするようにゆっくりと傾斜させた。これに伴い、矢板背後の地盤は、引っ張り亀裂を発生させ、部分崩壊しながら前方に移動した。その移動量が顕著になるに従い、基礎の背面の端部から放射方向に伸びる地盤亀裂が明瞭に現れ、最終的に写真-1に示すような亀裂の発生状態となった。ここで留意すべき点は、矢板背後の地盤が崩壊し前方に移動しただけで、杭基礎の背面地盤は動いていないことである。

地盤を作成し直し、同様の実験をさらに2回行った。いずれの場合も基礎の背面の端部から地盤亀裂が放射状に発生した³⁾。

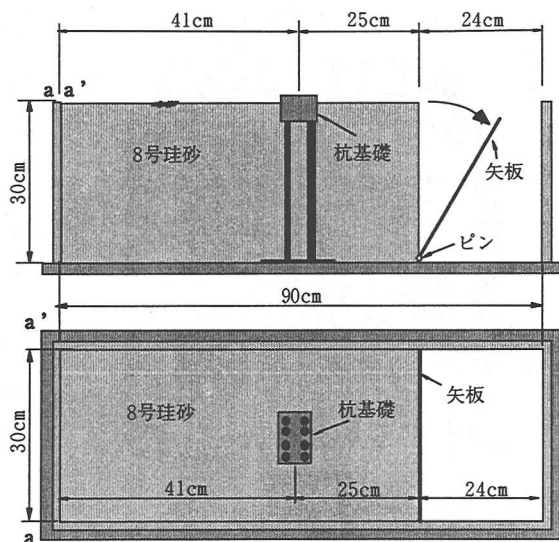


図-2 放射状に伸びる地盤亀裂の原因究明のための土槽実験モデル

この実験は、矢板護岸の崩壊に伴う背後地盤の移動を模擬したものである。地震動により地盤が液状化し、矢板護岸が崩壊した場合も、護岸背後地盤の前方への移動は概ね同様の状態で生じるものと考えられる。つまり、基礎の端部から放射状に伸びた地盤亀裂は、矢板護岸背後の地盤が、川あるいは海の方に移動することによって発生したものである。地盤と杭基礎の相対変位という観点からこの結果を考察すると、杭基礎の変位に比べて護岸の背後地盤の移動量が非常に大きい場合、同様の現象が発生すると言える。

4. 放射状に伸びた地盤亀裂の発生要因究明のための数値解析

基礎の端部から地盤亀裂が放射状に入る力学的な理由を明らかにするために、平面ひずみ状態を仮定した2次元FEM解析を行った。図-3は解析モデルについて示したものであるが、これは基礎と地盤の系を上から見た状態を想定している。

モデルの中央にある塗りつぶされた四角形は基礎に対応している。一端を完全固定とし、他端は自由端として、自由端を静的に引っ張った場合と押し込んだ場合の解析から、基礎周辺の主応力状態の変化

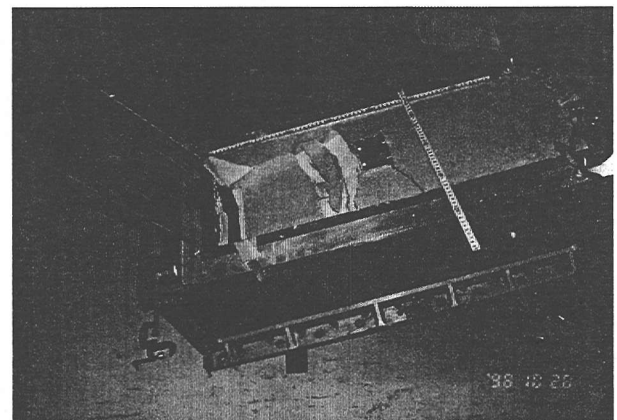


写真-1 放射状に伸びる地盤亀裂の原因究明のための土槽実験結果

について考察することが本解析の目的である。

自由端を引っ張った場合は、護岸が崩壊し、護岸背後の地盤が前方に移動した場合を模擬するものである。一方、自由端を押し込んだ場合は、護岸崩壊はせず、構造物の背面から流動化した地盤が流れて

きて、基礎を押し、それによって基礎が被災する場合を模擬しようとしたものである。

基礎は固定部からばねで支持されている。これは基礎杭のばねによる弾性支持の効果を得るために挿入したものである。解析定数を以下に列挙するが、これはあくまでも現象把握のために設定したもので、工学的な意味はない。

地盤： $E_g = 20\text{kN/m}^2$ 、 $\nu_g = 0.25$

(長さ $L = 10\text{m}$ 、幅 $W = 10\text{m}$ 、奥行き方向解析幅 $t = 1\text{m}$)

基礎： $E_f = 200\text{kN/m}^2$ 、 $\nu_f = 0.25$

ばね： $k = 2000\text{kN/m}$

荷重： $p = 10\text{kN/m}$

図-4は解析結果(対称条件により、半分の解析領域のモデルで行った)について示したものである。荷重は分布荷重として自由端を一樣に引っ張った場合と、一樣に押し込んだ場合の2ケースである。図-4には、それぞれ引っ張った場合、および押し込んだ場合の変形図と主応力図が示してある。

護岸の背後地盤の主応力状態は、引っ張った場合、護岸に垂直な状態で引っ張り力が発生しており、これによって護岸に平行な地盤亀裂が発生する。さらに、基礎の後方端部の主応力状態は、放射方向に亀裂が生じるような引っ張りの状態になっており、この応力状態が放射方向に伸びる地盤亀裂を発生させるものと考えられる。

一方、押し込んだ場合は、基礎の背面は圧縮状態となっている。つまり、側方流動が発生して、流動

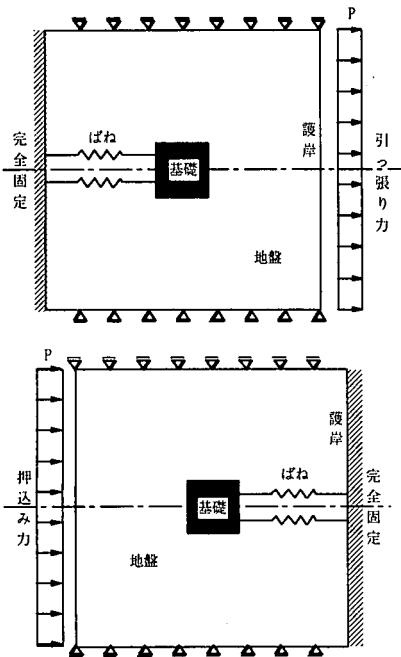


図-3 放射状に伸びる地盤亀裂の原因究明のためのFEM解析モデル図

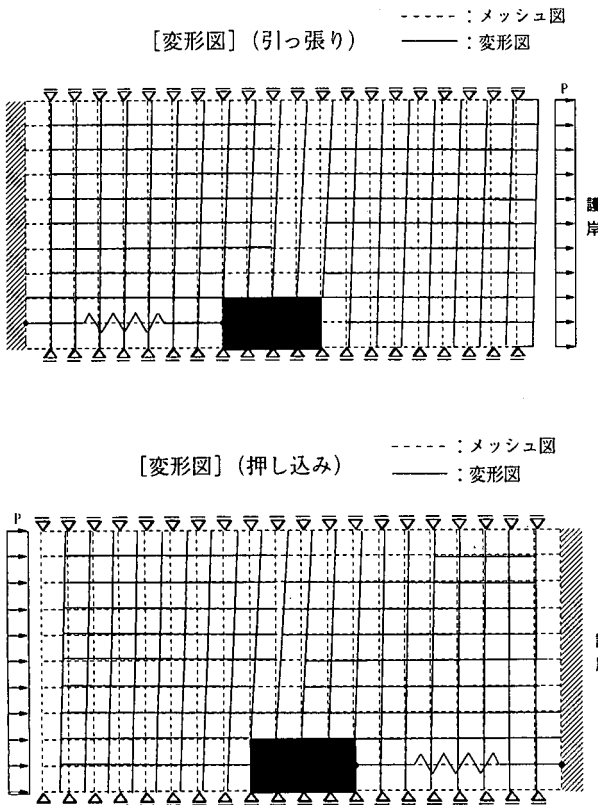


図-4 放射状に伸びる地盤亀裂の原因究明のためのFEM解析

化した地盤が基礎の背面に作用した場合、基礎がそれに抵抗することによって背面地盤は圧縮状態となり、そのオーダーが著しいと背面地盤は盛り上がった状態になると考えられる。

護岸付近の構造物で、阪神大震災の際に被災した構造物の被災事例を図-5に示す。この事例では、被災建物の背面で土の盛り上がりは見られず、空隙ができており(写真-2参照)、流動化した地盤が建物の背面から作用したとは考え難い。

被災した基礎周辺の背面地盤が顕著に盛り上がるといった事例は少ない。このことから、流動化した地盤が基礎の背面から外力として作用したと考える

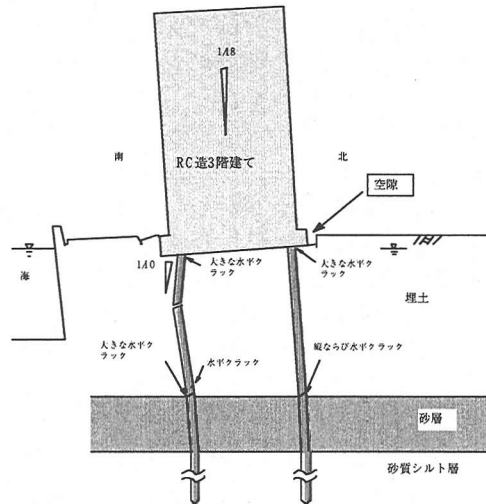


図-5 神戸商船大学の3階建て「海技実習センター」の被災事例(文献4に加筆)



[全景]



[建物背面]

写真-2 神戸商船大学の3階建て「海技実習センター」被災状況(東京大学 若松加寿江氏より提供)

のではなく、護岸が前面に大きく移動したり傾斜したことにより、基礎の前面の地盤反力が期待できなくなり、そのために基礎に被害が発生したと考えるのが妥当のように思われる。

5. まとめ

本研究の結論をまとめると、以下のように書ける。

- (1) 基礎の端部から放射状に伸びる地盤亀裂は、護岸の背後地盤(建物の前面地盤)が前方に大きく移動したために生じたものであり、橋脚の振動や、地盤の側方流動に伴う流動圧が橋脚の背後から作用したために生じたものではない。
- (2) 基礎の端部から放射状に伸びる地盤亀裂はせん断亀裂ではなく、引っ張り亀裂である。
- (3) 基礎の端部から放射状に伸びる地盤亀裂が発生していて、しかも基礎が被災していた場合は、基礎の前面地盤の破壊に伴う水平支持力の低下が、被災の主因と考えられる。
- (4) このような条件下での基礎の被害防止対策としては、護岸の崩壊の防止、護岸背後地盤の強化、護岸背後地盤の前方移動の防止、基礎の強化(地盤の水平支持力の低下を見込んだ設計)といったことが挙げられる。

謝辞:本研究は、阪神高速道路公団主催の「埋立地盤における橋梁基礎構造物の地震時挙動に関する研究会」において、阪神高速道路公団の南荘淳設計課長、幸左賢二調査役(現在、九州工業大学助教授)、安田扶律専門役、ならびに藤井康男技術係長らとの議論がきっかけで行ったものである。四氏はじめ、研究会の関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

また、基礎地盤コンサルタント(株)の久保田耕司課長と東京大学生産技術研究所の若松加寿江研究員からは、本研究を行う上で重要な資料である地盤亀裂図ならびに被災写真の提供を受けた。ここに記して深謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 土木学会: 阪神大震災 震災調査 第二次報告資料, 土木学会, 1995.3.
- 2) 阪神高速道路公団: 埋立地盤における橋梁基礎構造物の地震時挙動に関する研究, 1999.3.
- 3) 田蔵隆、佐藤正義、真野英之: 1995年阪神大震災によって発生した橋脚基礎から放射状に伸びる地盤亀裂の発生要因について, 清水建設研究報告, vol.69, 1999.4.
- 4) 時松孝司, 大岡弘, 社本康広, 浅香美治: 兵庫県南部地震の側方流動による杭の破壊・変形モード, 日本建築学会構造系論文集第495号, 1997.5.