

地震動によるコンクリート橋脚打ち継ぎ面での破壊機構に関する解析的検討

長岡技術科学大学大学院 学生会員 饒 蘇君
長岡技術科学大学 正会員 田中泰司

1. はじめに

強い地震を受けたコンクリート橋脚において打ち継ぎ面に沿った破壊損傷が生じた被害例が近年、複数確認されている。いずれも倒壊の恐れはないような状況であったが、設計で想定していなかった破壊損傷が生じたメカニズムや、そのような破壊が起こる条件を整理しておくことは今後の耐震設計にとっても有意義だと考えられる。そこで本稿では、地震時に打継面で発生する損傷メカニズムについて検討することにした。本研究では有限要素解析により実構造物で生じた損傷状態を再現することで、打継面で生じた破壊のメカニズムを検討することにした。

2. 検討対象橋梁の被害概要

本研究では、2011年3月12日に長野県北部で発生したマグニチュード6.7の地震において、橋脚の打継面で破壊が生じた北沢橋を研究対象とした。北沢橋は長野県下水内郡栄村にある国道117号線の橋梁で、昭和58年に供用が開始された2径間鋼単純桁橋である。橋長は93mであり、支間長は36.2m+55mである。被害調査報告[1]によると、北沢橋において橋脚に全周にわたって打継面に沿った水平ひび割れが発見された。また、図2に示すように橋脚の破壊面は地面から5.4~5.7mの高さであり、段落してから約55cm上方の位置にあることが確認された。これらの調査の結論として、打継面がせん断ひび割れの一部となっている可能性が指摘された。

3. 解析

3.1 静的解析

3.1.1 解析メッシュ

橋軸方向と橋軸直交方向の2方向でそれぞれ静的解析を行うことにした。図3に、橋軸直交方向の解析メッシュを、図4に橋軸方向の解析メッシュを示す。解析プログラムにはWCOMDver. 2.0を使用した。



図1 北沢橋の全景

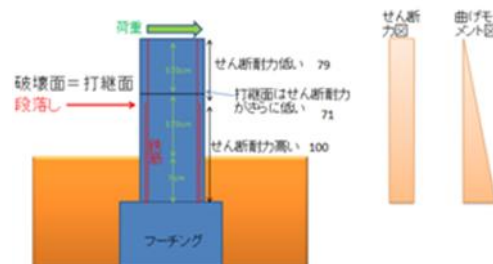
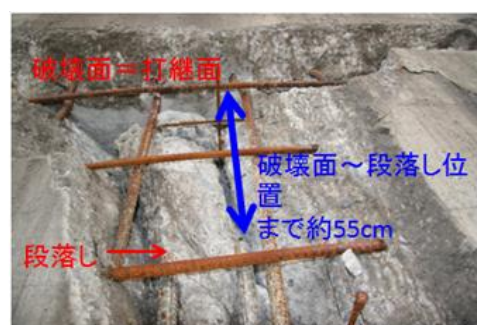


図2 橋脚の損傷個所と推測された損傷メカニズム

橋脚の打継面を再現するため、解析では実構造物の打ち継ぎ面の位置に接合要素の一種であるRCジョイントを設けた。RCジョイントは断面急変部で発生するコンクリートひび割れ面の開口やせん断伝達を表現するために用いられるものであり、その構成則には三島ら[2]の提案したモデルが採用されている。本研究では、RCジョイントの厚さを増減させることで、打ち継ぎ面のせん断伝達力を調整している。ここでは、打ち継ぎ面の接着はないものと仮定し、コンクリートの摩擦係数を0.6と仮定した場合の静止摩擦力が表現できるように、ジョイントの厚さを調整した。

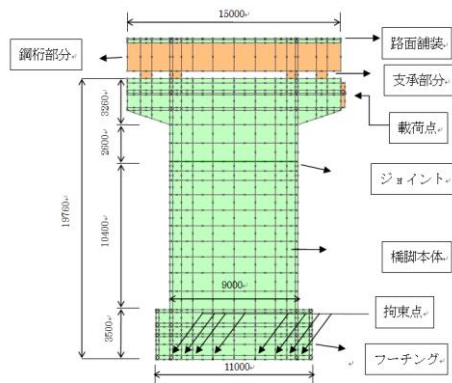


図3 橋軸直交方向のメッシュ

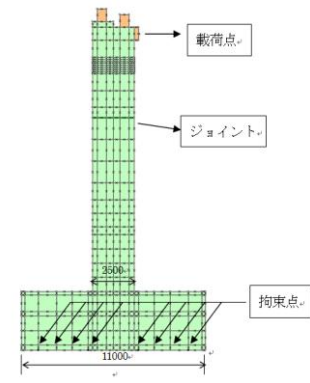


図4 橋軸直交方向のメッシュ

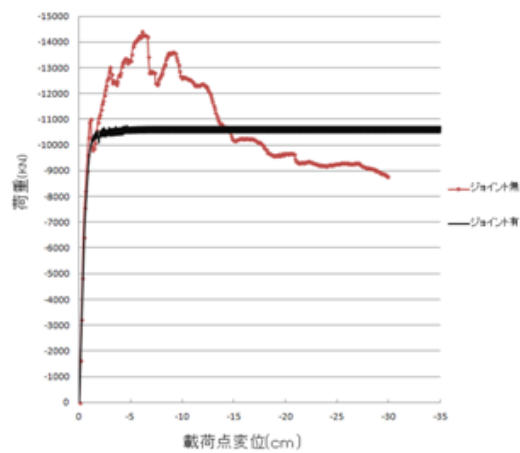


図5 橋軸直交方向のプッシュオーバー解析における載荷点の荷重変位関係

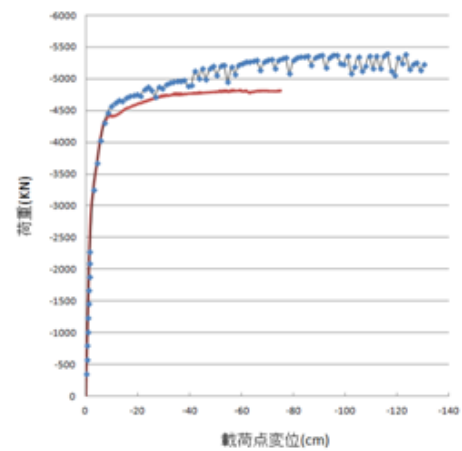


図7 橋軸方向のプッシュオーバー解析における載荷点の荷重変位関係

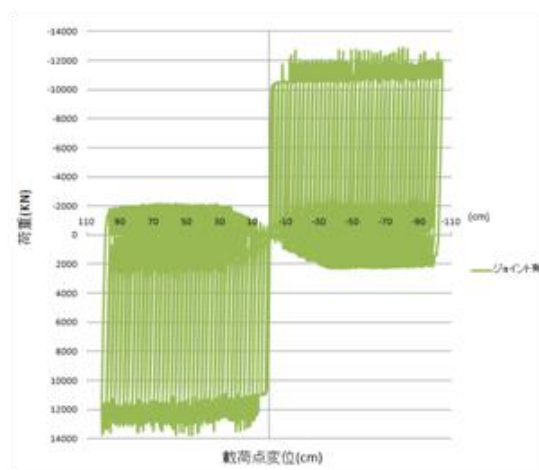


図6 橋軸直交方向の正負交番載荷における載荷点の荷重変位関係

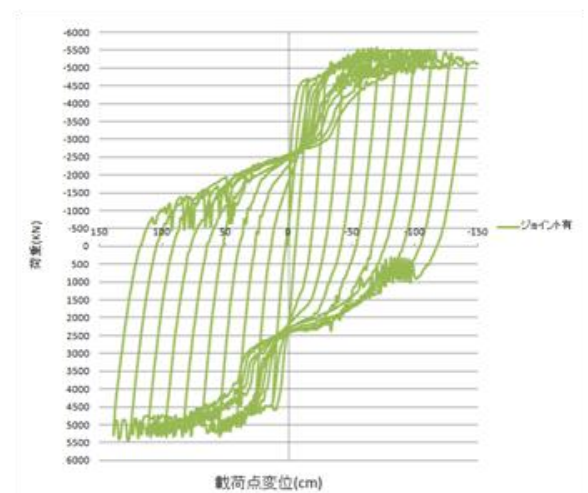


図8 橋軸方向の正負交番載荷における載荷点の荷重変位関係

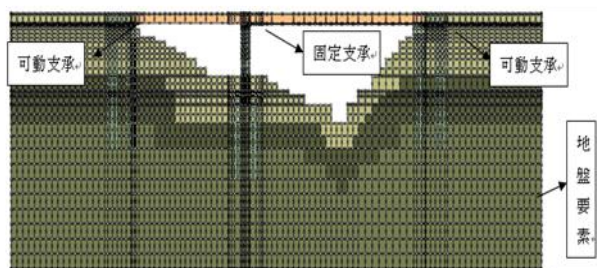


図9 橋軸方向地盤要素有のメッシュ

3.1.2 材料特性

コンクリートおよび鉄筋の材料特性を表1に示す。コンクリートの圧縮強度は 21N/mm^2 、鉄筋のヤング係数は 200KN/mm^2 と仮定し、その他の材料特性は圧縮強度から推定式を用いて求めた。なお、橋桁部分に相当する弾性要素の密度は、橋桁の総重量が一致するように調整した。コンクリート要素の材料構成則には、岡村・前川モデル[3]を用いた。

表1 モデルの材料特性

	圧縮強度	引張強度	単位重量
コンクリート	21N/mm^2	1.75N/mm^2	23KN/m^3
	ヤング係数	降伏強度	単位重量
鉄筋	200KN/mm^2	350N/mm^2	77KN/m^3

3.1.3 荷重方法

(a) プッシュオーバー解析：プッシュオーバー解析では、解析モデルが破壊に至るまで一方向に強制変位を与え続け、スケルトンカーブを確認した。本研究では、最大荷重の8割まで低下した時点を破壊とみなして解析ステップを決定した。

(b) 正負交番荷重：プッシュオーバー解析において、鋼材降伏が生じた変位を 1δ とし、正負方向に $\pm 1\delta$ 、 $\pm 2\delta$ 、 $\pm 3\delta$ …と 1δ ずつ変形量を増加させながら、応答値を確認する正負交番荷重を行った。

3.2 動的解析

3.2.1 解析メッシュ

解析モデルは橋軸、橋軸直交方向及び地盤要素の有無により、それぞれ解析を行うことにした。図9に、橋軸方向の解析メッシュを、図10に橋軸直交方向の解析メッシュを示す。境界条件は両端部をX方向拘

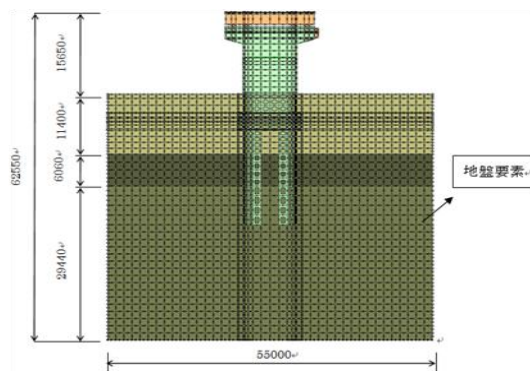


図10 橋軸直交方向地盤要素有のメッシュ

束し、最底部を完全拘束した。コンクリート及び鉄筋の材料特性は静的解析と一致した。また、地盤要素の構成モデルは大崎モデル[4]を用いた。地盤要素のN値はボーリング結果を参照に定めた。

3.2.2 地震データ

時刻歴加速度波形としては2011年3月12日の3時59分に、長野県栄村北信(36.9875N, 138.5776E)で観測した地震データ[5]を用いた。地震波が含まれる20sec間の加速度波形を時間刻み0.01secで与えた。

表2 入力波の方向

	X方向加速度波	Y方向加速度波
橋軸直交方向	N-S	U-D
橋軸方向	E-W	U-D

図9 EW, NS, UD 方向加速度時刻歴の一部

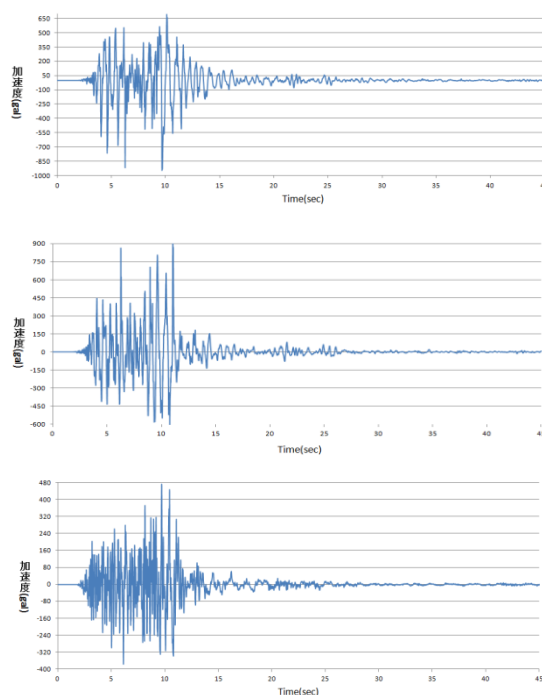


図 10 橋脚上部の応答変位

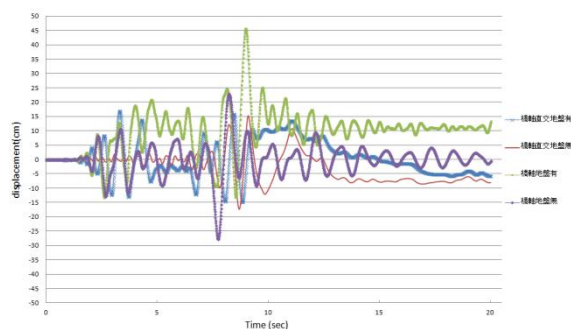


図 11 橋軸の応答軌跡

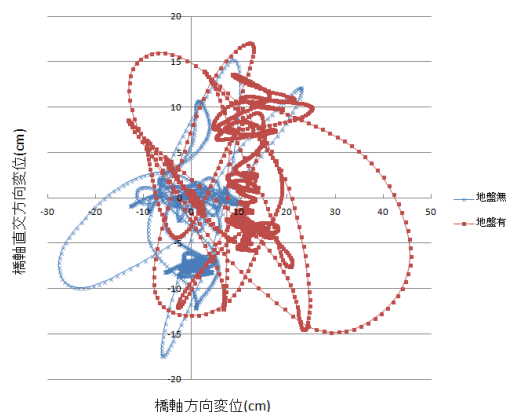


表 3 動的解析におけるジョイントのずれ変位

ジョイントのずれ変位 (cm)	橋軸直交方向地盤有	橋軸直交方向地盤無
	18.0605	11.209
	橋軸方向地盤有	橋軸方向地盤無
	11.2981	0.2468

表 4 橋脚上部応答変位最大値と対応の反力

	橋軸直交 地盤有	橋軸直交 地盤無	橋軸方向 地盤有	橋軸方向 地盤無
Max 変位 (cm)	17.0787	15.2596	45.6728	22.9252
反力 (KN)	-2.53E+05	-205.049	1.63E+06	-1.78E+03
Max 変位 (cm)	-14.8246	-17.3746	-13.3602	-27.75
反力 (KN)	5.58E+05	-1.12E+03	-1.59E+06	9.13E+03

参考文献

- [1] 東日本大震災に関する特別委員会報告書, 日本コンクリート工学会, pp. 162, 2013 年 3 月
- [2] 三島徹也, BUJADHAM B, 前川宏一: 正負交番载荷に適用可能な RC 離散ひびわれモデルの開発とその適用範囲, 土木学会論文集, No. 442, pp. 181-190, 1992.02
- [3] 岡村甫・前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991 年
- [4] Ohsaki, Y, "Some Notes on Masing's law and Non-linear Response of Soil Deposits", Journal of the Faculty of Eng. (B), The University of Tokyo, Vol. XXXV, No. 4, 1980
- [5] 首都圏強震動総合ネットワーク: <http://www.sknet.eri.u-tokyo.ac.jp/> (アクセス)

3.3 解析結果

3.3.1 静的解析

図 5 と図 6 に橋軸直交方向のプッシュオーバー解析結果と正負交番解析結果を示す。ジョイントが無い場合には、基部で曲げ破壊が生じたのに対し、ジョイントがある場合には、耐力が低下し、ジョイントですべりが生じた。図 7 と図 8 に橋軸方向のプッシュオーバー解析結果と正負交番解析結果を示す。軸方向の場合には、曲げ耐力が小さいため、ジョイントの影響はみられなかった。

3.3.2 動的解析

図 10 に動的解析における橋脚上部の応答変位の時刻歴を示す。図 11 に動的解析において橋軸の応答軌跡解析結果を示す。橋軸方向では残留変形が小さかったのに対し、橋軸直交方向ではジョイントのずれ変形を伴う破壊が生じた。これらの損傷状態は、実際の被害状況とおおむね整合している。

4. 解析結果の検討

北沢橋で生じた被害は、滑らかな打ち継ぎ面の摩擦抵抗力が曲げ耐力を下回るために生じたことが推察された。そのため、剛性が大きく、基部の曲げ耐力が大きくなる構造物で、このような被害が生じやすいと考えられる。