

## RC 橋脚と盛土の地震時復旧性の整合化に関する基礎的研究

東北大学 正会員 ○松崎 裕 東北大学(研究当時) 学生会員 笠原 康平 東北大学 フェロー会員 鈴木 基行

### 1. はじめに

道路は橋梁, 盛土, トンネル等の構造物から構成されているが, 線状構造であるため, 地震発生後の復旧期間が最も長い構造物が当該区間における道路機能の停止期間を決定する. 従って, 地震発生後に道路機能を早期に回復させるためには, 当該区間を構成する異種構造物間において復旧期間を整合化させる必要がある. そこで, 本研究では構造物の損傷度と想定される応急復旧期間の関係に着目した上で, 主要幹線道路上に橋梁区間と盛土区間がある場合を想定し, RC 橋脚と盛土について応急復旧期間の期待値を評価する. そして, 道路ネットワークを構成する異種構造物間における地震時復旧性の整合化に向けた基礎的検討を行う.

### 2. RC 橋脚および盛土の損傷度と想定される応急復旧期間

損傷度指標として, RC 橋脚は最大応答変位, 盛土は残留沈下量に着目した. その上で, 被災度<sup>1), 2)</sup>と RC 橋脚の降伏変位 $\delta_y$ , 終局変位 $\delta_u$ を用いて評価される残留変形性能<sup>1)</sup>, 盛土の残留沈下量の限界値<sup>3)</sup>に基づいて応急復旧期間を表-1 および表-2 のように想定した.

### 3. 解析対象とした RC 橋脚および盛土と解析条件

#### (1) 解析対象とした RC 橋脚と解析モデル

表-3 に示す現行の道路橋示方書<sup>4)</sup>に基づいて耐震設計された II 種地盤上の RC 橋脚である A 橋脚と, 既存不適格橋脚を想定して帯鉄筋間隔を A 橋脚の 2 倍とした B 橋脚を解析対象とした. RC 橋脚の水平荷重-水平変位関係について骨格曲線にバイリニアモデル, 履歴曲線に Takeda 型モデルを用いて, 橋軸方向に対して 1 自由度系の動的解析(減衰定数 0.02)を行い, 最大応答変位を算定した.

#### (2) 解析対象とした盛土と解析モデル

対象路線に盛土高 3m~10m の盛土区間があると想定した. ここで, 法面勾配は 1:1.8 とし, 盛土の諸元は表-4 のように設定した. 内部摩擦角と単位体積重量はそれぞれ小さい順に対応する値であり, 盛土の施工における締固め度の違いを反映させている. 盛土の地震時残留沈下量は, ニューマーク法に基づいた動的解析により算定した.

#### (3) 入力地震動と考慮した不確定要因

入力地震動として, 道路橋示方書<sup>4)</sup>の設計地震動のうち, JR 西日本鷹取駅構内地盤上 NS 成分を用いた. また, 表-5 に示すように各種不確定要因を考慮した. ここで, コンクリートおよび鉄筋の材料特性の不確定性は足立・運上<sup>5)</sup>, RC 橋脚の変形性能評価に係る不確定性は Sakai & Hoshikuma<sup>6)</sup>, 盛土および表層地盤の地盤定数の不確定性は田中ら<sup>7)</sup>に基づいて設定した. 各種不確定性を考慮するために試行回数を 10,000 回としたモンテカルロシミュレーション(MCS)を実施した.

### 4. RC 橋脚および盛土の地震時復旧期間の整合化に関する検討

RC 橋脚および盛土のそれぞれについて, MCS により不確定性を考

表-1 RC 橋脚の最大応答変位と想定される応急復旧期間

復旧期間	最大応答変位 $\delta$
即時	$\delta \leq \delta_y$
1 日	$\delta_y < \delta \leq \delta_y + 0.7(\delta_u - \delta_y)$
5 日	$\delta_y + 0.7(\delta_u - \delta_y) < \delta \leq \delta_u$
30 日	$\delta > \delta_u$

表-2 盛土の残留沈下量と想定される応急復旧期間

復旧期間	残留沈下量 $\delta_r$ (m)
即時	$\delta_r \leq 0.02$
1 日	$0.02 < \delta_r \leq 0.20$
5 日	$0.20 < \delta_r \leq 0.50$
30 日	$\delta_r > 0.50$

表-3 A 橋脚の諸元

断面幅(m)	6.5
断面高(m)	3.5
橋脚高(m)	20.5
軸方向鉄筋比(%)	0.74
横拘束筋体積比(%)	0.76
上部構造質量(ton)	633.0
曲げ耐力(MN)	8.73
降伏変位(mm)	103.7
終局変位(mm)	632.2

表-4 盛土の諸元

盛土高(m)	3~10m まで 1m 刻み
内部摩擦角 $\phi$ (度)	30, 35
単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	16, 17
粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	2.0

キーワード: RC 橋脚, 盛土, 地震, 損傷度, 復旧期間, 整合化

連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022-795-7447 FAX: 022-795-7448

表-5 考慮した不確定要因と統計量

	基準値	平均値	変動係数
コンクリート圧縮強度	23.5 N/mm <sup>2</sup>	28.2 N/mm <sup>2</sup>	10 % <sup>5)</sup>
鉄筋の降伏強度	345 N/mm <sup>2</sup>	414 N/mm <sup>2</sup>	7 % <sup>5)</sup>
鉄筋の弾性係数	2.06×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>	2.0×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>	1% <sup>5)</sup>
耐震性能 2 の限界状態に対応する変位 <sup>4)</sup>	—	道路橋示方書 <sup>4)</sup> による計算値	16.1 % <sup>6)</sup>
盛土の内部摩擦角 $\phi$ (度)	—	30, 35	15% <sup>7)</sup>
盛土の粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	—	2.0	15% <sup>7)</sup>

\*いずれの変数も正規分布に従うと仮定した。

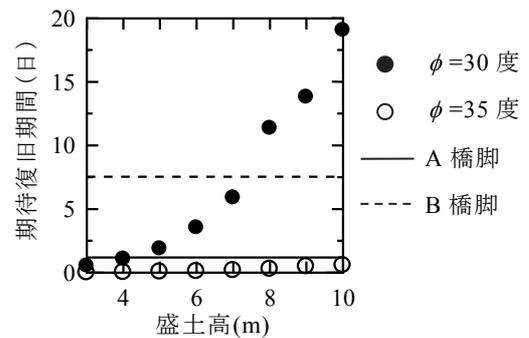


図-1 盛土高と期待復旧期間の関係

慮した動的解析から応答値を求め、応答値が表-1 および表-2 に示す各応答レベルに属する確率を算定した。そして、算定された確率に想定される応急復旧期間を乗じた値を4段階の応答レベルについて合計することにより、各構造物の地震時における応急復旧期間の期待値(以下、期待復旧期間)を算定し、RC 橋脚および盛土の地震時復旧性を評価した。算定された期待復旧期間は図-1 のようにまとめられる。期待復旧期間は、A 橋脚では 1.2 日であるのに対し、変形性能の乏しい既存不適格橋脚である B 橋脚では 7.5 日と長期化している。また、図-1 から、盛土高が等しい場合は、内部摩擦角が大きい方が期待復旧期間は短くなり、内部摩擦角が等しい場合は、盛土高が大きくなるほど期待復旧期間は長くなっている。特に内部摩擦角が 30 度と締固め度が緩い場合には、盛土高 3m 区間における期待復旧期間が 0.5 日であるのに対し、盛土高 10m 区間における期待復旧期間は 19.1 日となっており、盛土高が大きくなるにつれて期待復旧期間が著しく増加することが確認される。従って、様々な盛土高が混在する盛土区間において、内部摩擦角が一律に 30 度となるように締固め度を施工管理することは、道路ネットワークとしての復旧性が不整合な状態であると言える。本解析条件は限定的ではあるが、今後、より広範な条件に対して同様の検討を行うことで、構造種別や設計年代、諸元が異なる異種構造物間において地震時復旧性を整合化させるための基礎資料が得られる。

5. まとめ

橋梁区間と盛土区間それぞれの地震応答と想定される応急復旧期間の関係を整理した上で、RC 橋脚と盛土の復旧性の評価を行った。限られた解析条件ではあるが、現行の耐震基準に基づく橋脚と既存不適格橋脚における復旧性の相違を定量的に示すことができた。また、内部摩擦角が 30 度の場合、盛土高が大きくなると期待復旧期間が著しく増加する一方で、内部摩擦角を 35 度以上にした場合、盛土高によらず期待復旧期間はほとんど変わらない結果を得た。今後、より広範な条件に対して同様の検討を行うことで、異種構造物間において地震時復旧性を整合化できる設計体系の構築を図っていきたい。

謝辞：本研究は、一般財団法人国土技術研究センターの平成 25 年度(第 15 回)研究開発助成(研究代表者：松崎裕)を受けて実施されたものです。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編)平成 18 年度改訂版，丸善出版，2007.
- 2) 土木研究所：道路橋の耐震設計における部分係数設計法に関する研究，平成 19 年度重点プロジェクト研究報告書，<http://www.pwri.go.jp/jpn/results/prize/seika/project/2007/pdf/2007-9-4.pdf>
- 3) 常田賢一，小田和広：道路盛土の耐震性能評価の方向性に関する考察，土木学会論文集 C，Vol. 65，No. 4，pp. 857-873，2009.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善出版，2012.
- 5) 足立幸郎，運上茂樹：材料特性等のばらつきが鉄筋コンクリート橋脚の地震応答特性評価に及ぼす影響，第 25 回地震工学研究発表会講演論文集，pp. 961-964，1999.
- 6) Junichi SAKAI and Jun-ichi HOSHIKUMA: EVALUATION OF DUCTILITY CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BRIDGE COLUMNS CONSIDERING PLASTIC HINGE DEVELOPMENT, Proceedings of the International Symposium for Bridge Earthquake Engineering in Honor of Retirement of Professor Kazuhiko Kawashima, pp. 73-88, 2013.
- 7) 田中博文，沖村孝，鳥居宜之：盛土の地震応答特性評価に地盤の空間的不均質性が及ぼす影響，土木学会地震工学論文集，Vol. 28，論文番号 0005，2005.