

橋梁と土構造物の地震時復旧性の整合化に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○笠原 康平 東北大学 正会員 松崎 裕 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，トンネル等の様々な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路線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確保するためには，当該路線を構成する異種構造物間において復旧期間を整合化する必要がある．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，異種構造物間での期待復旧期間を比較する．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復旧性の整合化に向けた基礎的検討を行う．

2. 道路構造物の損傷度と想定される復旧期間

橋梁において地震時の塑性化を考慮する構造部材は RC 橋脚であるため，橋梁区間および盛土区間の復旧性は RC 橋脚の応答塑性率および盛土の残留沈下量との相関性が高いと判断される．そこで，既往の文献^{1),2)}に基づいて，RC 橋脚の応答塑性率および盛土の残留沈下量と想定される復旧期間の関係を表-1 および表-2 のように設定した．

表-1 RC 橋脚の応答塑性率と想定される復旧期間

復旧期間	RC 橋脚の応答塑性率
即時	~1.0
1 日	1.0~3.0
5 日	3.0~5.0
30 日	5.0~

3. 検討対象とした橋梁および土構造

(1) 検討対象とした RC 橋脚と解析モデル

本検討では，河川を横断する橋梁を想定し，現行の道路橋示方書³⁾に基づいた表-3 に示す II 種地盤上の RC 橋脚を対象とした．RC 橋脚の応答変位の算定に当たっては，1 自由度系によりモデル化し，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 モデルを用いた非線形時刻歴応答解析(減衰定数 0.02)を行った．

表-2 盛土の残留沈下量と想定される復旧期間

復旧期間	盛土の残留沈下量(cm)
即時	~2.0
1 日	2.0~20
5 日	20~50
30 日	50~

(2) 検討対象とした盛土と解析モデル

対象路線に盛土高さ 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，地盤の物性値は表-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，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時刻歴応答解析により算定した．

表-3 RC 橋脚の諸元

断面幅(m)	5.1
断面高さ(m)	2.4
橋脚高さ(m)	12
軸方向鉄筋比(%)	1.6
横拘束筋体積比(%)	0.53
固有周期(s)	0.53
曲げ耐力(kN)	5895
降伏変位(mm)	48

(3) 入力地震動と材料特性の不確定性のモデル化

入力地震動として，道路橋示方書³⁾の標準波のうち，JR 西日本鷹取駅構内地盤上 EW 成分を用いた．また，表-5 に示すように構成材料の力学的特性のばらつきおよび地盤材料の空間的不均質性を考慮した．ここで，コンクリートの圧縮強度および鉄筋の降伏強度の変動係数は足立・運上⁴⁾，盛土および表層地盤の地盤定数の変動係数は田中ら⁵⁾と同様の値とした．ばらつきの影響を考慮するためにモンテカルロシミュレーション(MCS)を実施し，その試行回数は 10,000 回とした．

表-4 盛土の諸元

盛土高さ(m)	3~10m まで 1m 刻み
内部摩擦角 ϕ (deg.)	30, 35, 40
単位体積重量 γ (kN/m ³)	16, 17, 18
粘着力 c (kN/m ²)	2.0

4. 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，不確定性を考慮した時刻

キーワード：橋梁，土構造物，限界状態，復旧性

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

TEL：022-795-7449

FAX：022-795-7448

表-5 材料特性の不確定性

	確率分布形	基準値	平均値	変動係数
コンクリートの圧縮強度(N/mm ²)	正規分布	21	25.2	10% ⁴⁾
鉄筋の降伏強度(N/mm ²)	正規分布	295	354	7% ⁴⁾
盛土の内部摩擦角 ϕ (deg.)	正規分布	—	30, 35, 40	15% ⁵⁾
盛土の粘着力 c (kN/m ²)	正規分布	—	2.0	15% ⁵⁾

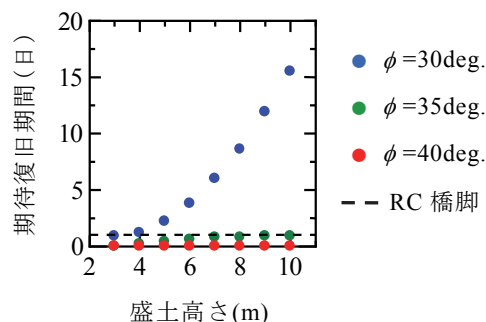


図-1 盛土高さと期待復旧期間の関係

歴応答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、算定された確率と想定される復旧期間を掛け合わせた値を合計することにより、各構造物の地震時における復旧期間の期待値(以下、期待復旧期間)を算定し、RC 橋脚および盛土の復旧性を評価した。MCS の結果から、盛土高さと期待復旧期間の関係は図-1 のように算定され、RC 橋脚の期待復旧期間は 1.0 日であった。図-1 から、盛土の高さ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っていることが確認される。また、内部摩擦角が等しい場合は、盛土高さが大きくなるほど期待復旧期間は長くなる。特に内部摩擦角が 30 度の場合には、盛土高さ 3m 区間における期待復旧期間が 0.9 日であるのに対し、盛土高さ 10m 区間における期待復旧期間は 15.5 日となっており、盛土高さ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、様々な盛土高さ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管理することは、道路としての復旧性が不釣合いな状態であると言える。本解析条件は限定的ではあるが、RC 橋脚と盛土の地震時復旧性の整合化を考えると、盛土高さが 4m 以下である区間においては、内部摩擦角が 30 度以上になるように、盛土高さが 4m を超える場合は内部摩擦角が 35 度以上になるように締め固めることで、RC 橋脚と盛土の地震時復旧性の整合化が図られることが示唆される。

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、内部摩擦角が 30 度の場合、盛土高さ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、盛土高さによらず期待復旧期間はほとんど変わらなかった。このことから、施工時において締固めを十分に行うことの重要性が示された。ただし、橋梁と土構造の地震応答特性は作用する地震動と表層地盤の増幅特性など、様々な条件の影響を受けることから、設計時にはこれらの条件や対象路線の重要度を適切に踏まえて許容できる復旧期間について意思決定を行うことが必要であると考えられる。

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。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人 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) 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.
- 3) 社団法人 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.
- 4) 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.
- 5) 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.