

第15回JICE研究開発助成成果報告会
2015.6.4

復旧期間を考慮した 橋梁と盛土の地震時安全性の 整合化に関する研究

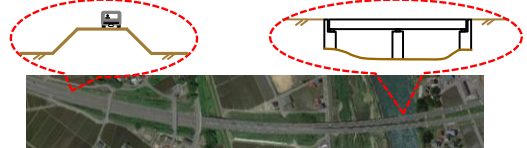
東北大学
大学院工学研究科 土木工学専攻
松崎 裕

研究の背景 ～異種構造物の組み合わせから成る道路～

震災時に道路が果たすべき役割

- 緊急避難路
 - 救助活動のための通行路
 - 緊急物資の輸送路
- 緊急輸送道路は **早期復旧**が必要であり、
そのように設計されるべき

道路は、橋梁、盛土、トンネル等の**異種構造物の組み合わせ**
から成る**線状構造**を有している。



研究の背景 ～線状構造と道路機能の停止期間～

震災時に道路が果たすべき役割

- 緊急避難路
 - 救助活動のための通行路
 - 緊急物資の輸送路
- 緊急輸送道路は **早期復旧**が必要であり、
そのように設計されるべき

道路は、橋梁、盛土、トンネル等の**異種構造物の組み合わせ**
から成る**線状構造**を有している。

最も長い復旧期間を要する構造物の損傷度が
当該区間における**道路機能の停止期間**の決定要因となる。



研究の背景 ～地震時復旧期間の整合化の必要性～

震災時に道路が果たすべき役割

- 緊急避難路
 - 救助活動のための通行路
 - 緊急物資の輸送路
- 緊急輸送道路は **早期復旧**が必要であり、
そのように設計されるべき

道路は、橋梁、盛土、トンネル等の**異種構造物の組み合わせ**
から成る**線状構造**を有している。

最も長い復旧期間を要する構造物の損傷度が
当該区間における**道路機能の停止期間**の決定要因となる。

異種構造物間において、復旧性の違いを念頭に置いて
地震時復旧期間の整合化が必要である。

研究の背景 ～既往の被害地震における事例～

2004年新潟県中越地震

- 橋梁本体構造は即時に供用できる状態
 - 前後のアプローチ部の盛土部、斜面等が多く被災
- 橋梁と盛土で**地震時復旧性が不整合**であり、
道路機能の復旧に長期間を要した。

2011年東北地方太平洋沖地震

コスト縮減の観点から、**高盛土**にして橋台をできるだけ前面
に出し、**短い橋長**とした構造

→ **緊急輸送道路**でありながら、**盛土が45cm沈下**した他、
踏掛版も損傷し、道路機能の復旧に長期間を要した。

コスト縮減の前提条件である安全性が損なわれており、
復旧期間を意識した構造計画と構造設計の連携が必要不可欠

研究の背景 ～橋梁と盛土の耐震設計の考え方の違い～

レベル2地震動に対する耐震設計の考え方

橋梁(道路橋示方書 耐震設計編)

緊急輸送道路を含む**重要度の高いB種の橋**

→ RC橋脚は、耐震性能2として、ひび割れや局所的な
コンクリートの剥離程度に損傷が収まるように耐震設計

盛土(道路土工盛土工指針)

特徴と経験 地震時の残留沈下 → オーバーレイを行えば
容易に修復可能

十分な排水処理と → 地震被害は限定的
入念な締固め

重要度の高い重要度1の盛土でも、レベル1地震動に対する照査
を満たせば、**レベル2地震動に対する照査は省略してよい**。

研究の背景 ～盛土の定量的耐震性評価の必要性～

レベル2地震動に対する耐震設計の考え方

盛土（道路土工盛土工指針）

特徴と
経験

地震時の残留沈下 ➡ オーバーレイを行えば容易に修復可能
十分な排水処理と ➡ 地震被害は限定的
入念な締固め

重要度の高い重要度1の盛土でも、レベル1地震動に対する照査を満たせば、レベル2地震動に対する照査は省略してよい。

締固めた砂の場合には、内部摩擦角30度や35度が設計時に用いる土質定数の仮定値として示されている。

➡ 効果的かつ経済的な対策のためには、定量的な耐震性評価が必要不可欠

研究の目的

定量的な耐震性評価がされてこなかった盛土

2015年3月：道路土工構造物技術基準の制定

- 初めて制定された道路土工構造物に関する国の技術基準
- 連続する異種構造物間での要求性能の整合化が必要であることなどを規定

➡ 具体的に、いかにすれば異種構造物間の整合化が図られるのかを検討する必要がある。

研究の目的

異種構造物間における性能の整合化に関する基礎的検討として、明確に性能規定されているRC橋脚と同等の応急復旧期間となるような盛土の諸元や締固め度等の条件について明らかにする。

RC橋脚の損傷度と応急復旧期間

道路橋示方書

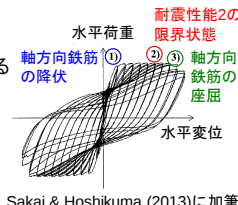
耐震性能2の限界状態に相当する

水平変位は道路震災対策便覧における被災度C（ひび割れ、局部的な剥離）

➡ 応急復旧期間は1日

RC巻立て、桁仮受けが必要となると
応急復旧期間は5日程度
（土木研究所、平成19年度）

最大応答変位	応急復旧期間
降伏変位以下	0日
降伏変位を超過、耐震性能2の限界水平変位以下	1日
耐震性能2の限界水平変位を超過	5日



Sakai & Hoshikuma (2013)に加筆

盛土の損傷度と応急復旧期間

盛土の地震被害

基礎地盤の破壊、滑り崩壊等様々なパターン

➡ 本研究では滑り崩壊するパターンについて定量評価

損傷度指標

車両交通への影響が重要であり、段差（残留沈下量）に着目

- 段差0.02m以下であれば、小型車でも定常走行が可能
- 段差0.20m以下であれば、一旦停止して乗り上げるか、乗り降りすることで走行可能

残留沈下量	応急復旧期間
0.02m以下	0日
0.02mを超過、0.20m以下	1日
0.20mを超過	5日

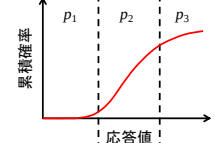
常田・小田(2009)による
新潟県中越地震時の
復旧期間を考慮して設定

地震時復旧期間の評価法

材料特性等の不確定性
を考慮した動的解析

盛土
粘着力、内部摩擦角
RC橋脚
コンクリートの圧縮強度
鉄筋の降伏強度 等

応答分布の
算定



想定される 応急復旧期間(日)	$T_1=0$ 日	$T_2=1$ 日	$T_3=5$ 日
各応答レベルに 属する確率	p_1	p_2	p_3

応急復旧期間の期待値（期待復旧期間） T

$$T = \sum (p_i \cdot T_i)$$

算定された期待復旧期間を基に各構造物の復旧性を評価

解析対象としたRC橋脚と動的解析モデル

解析対象としたRC橋脚

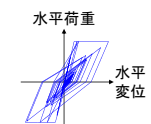
平成24年の道路橋示方書に基づいて耐震設計された
II種地盤上における単柱式RC橋脚

断面寸法	5.5m × 2.5m
橋脚高	13m
コンクリートの圧縮強度	23.5N/mm ²
鉄筋の降伏強度	345N/mm ²
軸方向鉄筋比	1.17%
横拘束筋体積比	0.53%

橋軸方向について
盛土の地震時復旧性
と比較

水平荷重－水平変位関係のモデル化

骨格曲線 バイリニアモデル
履歴曲線 Takeda型モデル



解析対象とした盛土と動的解析モデル

解析対象とした盛土

法面勾配が1:1.8の道路盛土

盛土高	3m~10mまで1m刻み
内部摩擦角	30度および35度
単位体積重量	16kN/m ³ および17kN/m ³
粘着力	2.0kN/m ²

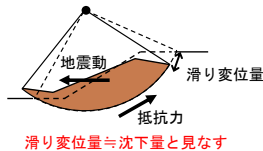
内部摩擦角と単位体積重量は小さい順に対応

動的解析モデル

ニューマーク法

➡ 入力パラメータの設定がしやすい簡便手法

残留沈下量0.02m, 0.20mは盛土高に対して小さい変位であり、適用できると判断



13

地震時復旧期間の評価において考慮する不確定要因

材料特性および変形性能評価式に係る不確定要因について、いずれも正規分布に従う確率変数として考慮した。

	基準値	平均値	変動係数
コンクリートの圧縮強度	23.5N/mm ²	28.2N/mm ²	10%
鉄筋の降伏強度	345N/mm ²	414N/mm ²	7%
鉄筋の弾性係数	2.06×10^5 N/mm ²	2.00×10^5 N/mm ²	1%
耐震性能2の限界状態に相当する水平変位	—	道路橋示方書に基づく算定値	16.1%
盛土の内部摩擦角	—	30度, 35度	15%
盛土の粘着力	—	2.0kN/m ²	15%

コンクリートおよび鉄筋の材料特性：足立・運上(1999)
RC橋脚の変形性能評価式：Sakai & Hoshikuma (2013)
盛土の地盤物性：田中ら(2005)

14

入力地震動

道路橋示方書に示されている標準加速度応答スペクトルと整合するように振幅調整されたⅡ種地盤上の強震記録を用いた。

レベル1地震動

昭和43年日向灘地震 板島橋周辺地盤上 LG成分

レベル2地震動(タイプⅠ)

平成15年十勝沖地震	直別観測点地盤上 EW成分	I-II-1
平成23年東北地方太平洋沖地震	仙台河川国道事務所構内地盤上 EW成分	I-II-2
	阿武隈大堰管理所構内地盤上 NS成分	I-II-3

レベル2地震動(タイプⅡ)

平成7年兵庫県南部地震	JR西日本鷹取駅構内地盤上 NS成分	II-II-1
	JR西日本鷹取駅構内地盤上 EW成分	II-II-2
	大阪ガス葺合供給所構内地盤上 N27W成分	II-II-3

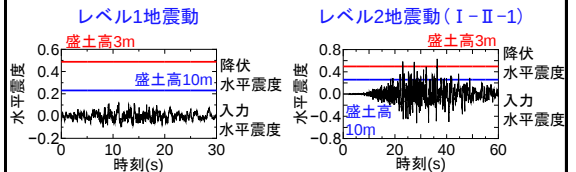
15

盛土のレベル1地震動、レベル2地震動に対する安定性

盛土工指針における高さ20m程度以下の盛土

締固めた砂の土質定数の仮定値 ➡ 内部摩擦角30度, 35度

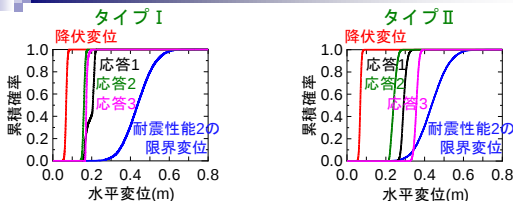
土質定数の平均値ベースでの評価



より滑りやすい内部摩擦角30度かつ不確定性を考慮した条件でも、降伏水平震度を上回らず、➡ レベル2地震動に対する安定性は問題ない、復旧性は？

16

レベル2地震動に対するRC橋脚の期待復旧期間



※図中の応答iはI(Ⅱ)-Ⅱ-iの地震動に対する応答変位を示す。

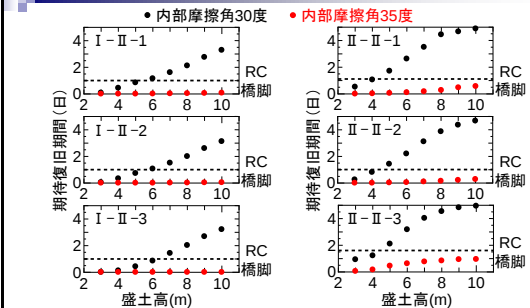
地震動	期待復旧期間
I-II-1	1.0日
I-II-2	1.0日
I-II-3	1.0日

地震動	期待復旧期間
II-II-1	1.0日
II-II-2	1.0日
II-II-3	1.6日

設計思想通り、速やかな機能回復が可能

17

レベル2地震動に対する盛土の期待復旧期間

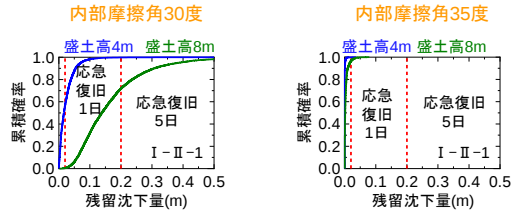


内部摩擦角30度では、タイプⅠに対しては盛土高8m程度から、タイプⅡに対しては盛土高6m程度からRC橋脚と有意な差

18

盛土の締固めの程度が残留沈下量分布に及ぼす影響

締固めの程度の違い(内部摩擦角の違い)が
地震時復旧性に有意な差を生む理由



不確定性の存在下においては、密実に締固めを行い、
内部摩擦角を大きくして、**応答値と限界値を離す**ことが
効果的かつ重要である。

19

まとめ

異種構造物間における地震時復旧期間の整合化に向けた
基礎的検討として、RC橋脚と盛土を対象とした検討を行った。

- 内部摩擦角30度の盛土では、レベル1地震動に対して地震時安定性に問題がなく、**盛土工指針ではレベル2地震動に対する照査を省略してよい場合であっても**、レベル2地震動の作用下においては、**概ね盛土高6m程度以上の場合において、地震時復旧期間をRC橋脚と整合化できないことが示された。**
- 地盤物性の不確定性を考慮した上でであっても、十分に締固めを行い、**盛土の内部摩擦角を35度以上に大きくし、地震時の抵抗力を高める**ことで、応答値の限界値に対する余裕度は向上する。そのようにすることで、レベル2地震動に対しても、概ね1日程度で復旧可能な耐震性能2が確保された**RC橋脚と同等以下の地震時復旧期間**とすることができる。

20