

第16回JICE研究開発助成成果報告会
2016.5.25

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

緊急輸送路は早期復旧が必要であり、それを具現化する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おり、異種構造物間で復旧期間が整合するような限界状態に基づいて設計すべき

研究の目的 ～橋梁と盛土の応急復旧期間の整合化～

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
- 盛土、斜面等が多く被災

橋梁と一般部の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。

異種構造物間において、復旧性の違いを考慮した限界状態の設定、材料特性のばらつきの違い等を踏まえて、地震時応急復旧期間の整合化が必要である。

研究の目的①
地震時応急復旧期間の期待値について、橋梁構造において地震時損傷が誘導される部材であるRC橋脚と整合するように、盛土の耐震設計に用いる設計規準式と部分係数の組み合わせを提示する。

研究の目的 ～橋台背面盛土の残留沈下量の抑制～

2011年東北地方太平洋沖地震

コスト縮減の観点から、短い橋長とするために、高盛土にして橋台をできるだけ前面に出した構造

橋台：液状化の影響を受ける場合を除いてレベル2地震動に対する耐震設計はなされていない。

緊急輸送路でありながら、背面盛土が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。

背面盛土の沈下をできるだけ抑制することを前提とした上で、あくまでも、さらなる補完策として、踏掛版を活用するべき

研究の目的②
橋台の背面盛土の地震時残留沈下量および橋台の地震時挙動に関して、縮小模型を用いた1G場における振動台実験を行い、橋台の背面盛土に必要な締固め度に関する基礎的検討を行う。

応急復旧期間の期待値について RC橋脚と整合できる レベル2地震動に対する盛土の 設計規準式と部分係数に関する検討

RC橋脚と盛土の耐震設計と応急復旧期間の整合化

部分係数 γ_2 の初期値の仮定

レベル2地震動に対するRC橋脚と盛土の耐震設計

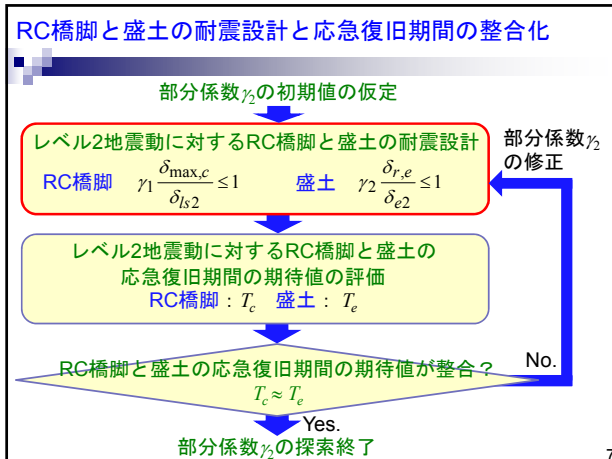
RC橋脚 $\gamma_1 \frac{\delta_{max,c}}{\delta_{ls2}} \leq 1$ 盛土 $\gamma_2 \frac{\delta_{r,e}}{\delta_{e2}} \leq 1$

レベル2地震動に対するRC橋脚と盛土の
応急復旧期間の期待値の評価
RC橋脚： T_c 盛土： T_e

RC橋脚と盛土の応急復旧期間の期待値が整合？
 $T_c \approx T_e$

Yes. 部分係数 γ_2 の探索終了

No. 部分係数 γ_2 の修正



レベル2地震動に対する盛土の設計規準式と部分係数

RC橋脚(道路橋示方書の照査内容に対応)

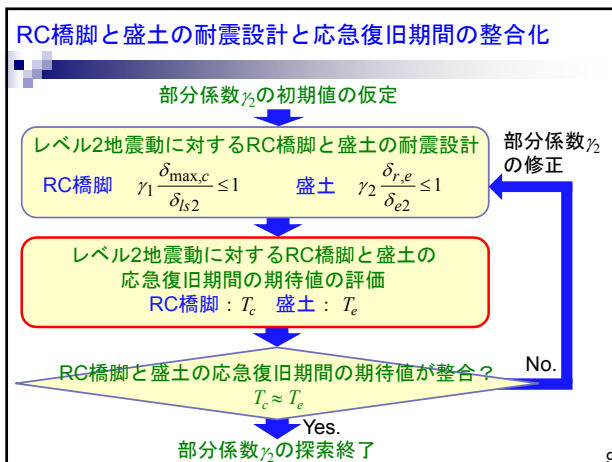
$\gamma_1 \frac{\delta_{max,c}}{\delta_{ls2}} \leq 1$

γ_1 : 耐震性能2の照査に用いる部分係数(=1.2)
 $\delta_{max,c}$: 3波に対する最大応答水平変位の平均値
 δ_{ls2} : 耐震性能2の限界状態に対応する水平変位

盛土

$\gamma_2 \frac{\delta_{r,e}}{\delta_{e2}} \leq 1$

γ_2 : RC橋脚と同程度の応急復旧期間の期待値とするための残留沈下量の照査に用いる部分係数
 $\delta_{r,e}$: 3波に対する残留沈下量の平均値
設計用モデルとして、領域内で地盤物性を一定として算定
 δ_{e2} : 限界残留沈下量0.20m



RC橋脚と盛土の損傷度と応急復旧期間

RC橋脚

| 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 |

盛土

| 残留沈下量に伴う段差 | 応急復旧期間 |
|-------------------------------|--------|
| 0.02m以下 (小型車でも定常走行可能) | 0日 |
| 0.02mを超過、0.20m以下 (一旦停止して走行可能) | 1日 |
| 0.20mを超過 | 5日 |

Sakai & Hoshikuma (2013)に加筆

応急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に乗じる係数 | 道路橋示方書に基づく算定値 | 1.060 | 17.5% |
| 盛土の内部摩擦角 | — | — | 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: 土木研究所(2013)
 盛土の地盤物性: 田中ら(2005)

応急復旧期間の期待値の評価法

材料特性等の不確定性を考慮した動的解析

盛土(ニューマーク法) 粘着力, 内部摩擦角

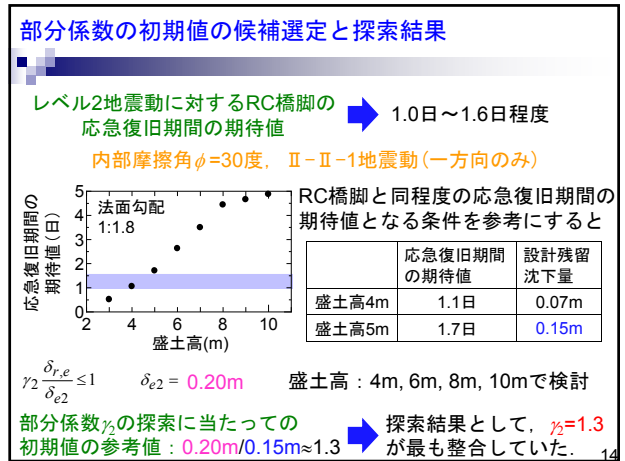
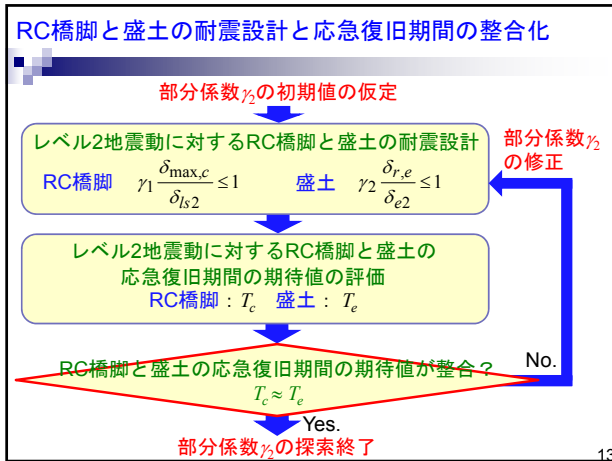
RC橋脚(Takeda型モデル) コンクリートの圧縮強度, 鉄筋の降伏強度 等

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

算定された応急復旧期間の期待値を基に各構造物の復旧性を評価

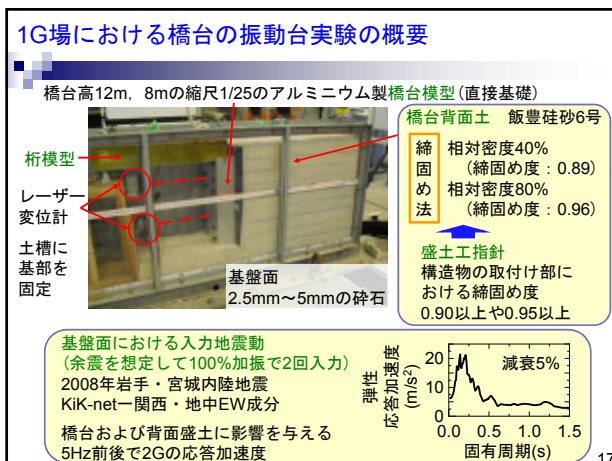
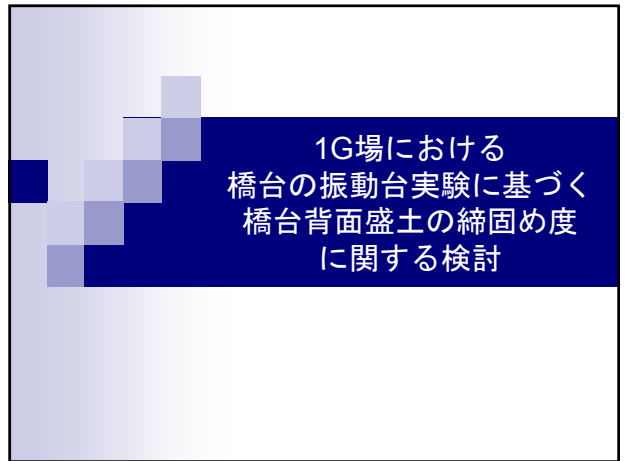


提案手法で耐震設計された盛土の応急復旧期間の期待値

$\gamma_2 \frac{\delta_{r,e}}{\delta_{e2}} \leq 1$ $\gamma_2=1.3$ として耐震設計された盛土の応急復旧期間の期待値

| 地震動 | 盛土高4m ($\phi=29$ 度) | | 盛土高6m ($\phi=31$ 度) | | 盛土高8m ($\phi=32$ 度) | | 盛土高10m ($\phi=33$ 度) | | |
|-----------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----|
| | 設計残留沈下量 (m) | 復旧期間の期待値 (日) | 設計残留沈下量 (m) | 復旧期間の期待値 (日) | 設計残留沈下量 (m) | 復旧期間の期待値 (日) | 設計残留沈下量 (m) | 復旧期間の期待値 (日) | |
| レベル2タイプII II種地盤 | II-II-1 | 0.13 | 1.4 | 0.14 | 1.4 | 0.15 | 1.5 | 0.11 | 1.2 |
| | II-II-2 | 0.12 | 1.2 | 0.13 | 1.3 | 0.14 | 1.3 | 0.11 | 1.1 |
| II-II-3 | II-II-3 | 0.16 | 1.5 | 0.17 | 1.6 | 0.18 | 1.6 | 0.16 | 1.3 |
| | 平均値 | 0.09 | 1.0 | 0.10 | 1.0 | 0.11 | 1.1 | 0.08 | 0.9 |

提案する設計規準式で設計された盛土は, 盛土高に関わらず, RC橋脚と同程度の応急復旧期間となるような締固め度へと誘導



橋台背面盛土の残留沈下量と橋台の残留水平変位

橋台背面盛土の残留沈下量

| | 12m橋台模型 | | 8m橋台模型 | |
|-------|---------|-----|--------|-----|
| 相対密度 | 40% | 80% | 40% | 80% |
| 加振1回目 | 10mm | 8mm | 6mm | 6mm |
| 加振2回目 | 12mm | 8mm | 9mm | 7mm |

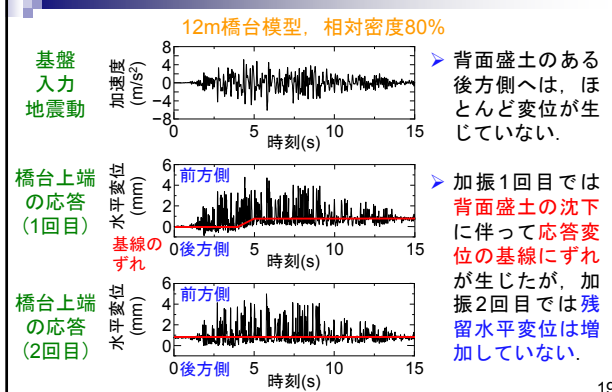
橋台上端の残留水平変位

| | 12m橋台模型 | | 8m橋台模型 | |
|-------|---------|-----|--------|-----|
| 相対密度 | 40% | 80% | 40% | 80% |
| 加振1回目 | 5mm | 1mm | 3mm | 0mm |
| 加振2回目 | 7mm | 1mm | 5mm | 0mm |

橋台高・背面盛土高が大きい程, 締固め度が小さい程, 背面盛土の残留沈下量と橋台上端の残留水平変位が大きいの。

相対密度80% (締固め度0.96) と十分に締固めた場合には加振2回目における残留沈下量や残留水平変位の増加が抑制されている。

十分に背面土が締め固められた橋台の地震時挙動



まとめ

異種構造物間における地震時応急復旧期間の整合化に向けて、レベル2地震動に対する盛土の耐震設計で用いる設計規準式と部分係数の組み合わせ、1G場における振動台実験に基づいて橋台背面盛土の締め固め度とその残留沈下量および橋台の地震時挙動の関係について基礎的検討を行った。

- 盛土の限界残留沈下量を0.20m、部分係数を1.3として、レベル2地震動に対する耐震設計を行うことで、地震時応急復旧期間の期待値は耐震性能2を確保したRC橋脚と同程度となる。
- 締め固め度0.96と橋台背面盛土を十分に締め固めることで、橋台の残留水平変位・橋台背面盛土の残留沈下量について、余震による被害拡大を含めて抑制される。

限られた条件での解析・実験であるため、これらの知見を基礎にして、今後も検討を深めていく必要がある。