

継続時間の長い地震動にも適用可能な高度な地盤動的解析手法の導入について

独立行政法人 港湾空港技術研究所
地盤・構造部 動土質研究室研究官 金田一広

1. はじめに

切迫性が高まっている海溝型巨大地震の主要動（継続時間）は 2 分を超えると予想されており、これまでの知見と異なる現象の発生が想定される。しかし、現行の港湾の液状化判定法では、このような継続時間の長い地震動に対しての検討がまだ不十分である。また、性能設計においては、加振時、加振後の地盤や護岸の変動を予測する必要がある。そのため、地盤の排水を考慮できる構成モデルと、大変形に適用できる高度な動的地盤解析手法が必要となっている。

本稿では、主要動の継続時間の長い地震動に対する液状化についての検討や、性能設計に対応するために、加振中、加振後の砂地盤の液状化・その後の圧密計算を可能とした新たな計算手法の導入に向けて実施した数値計算と、地震動継続時間の違いによるケーソン式岸壁模型実験について報告する。

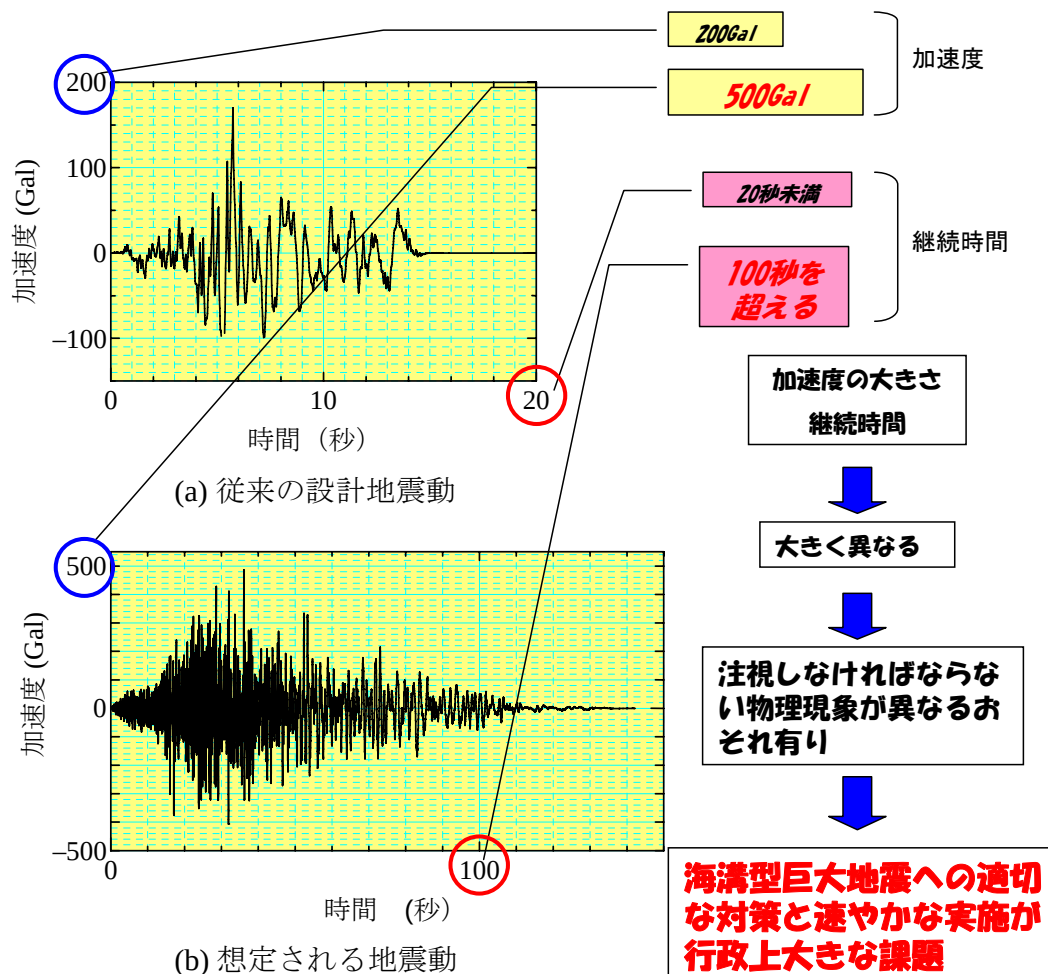


図 1 従来および想定される地震動の違い

2. 課題に対する解決策

小型振動台実験を用いたケーソン式岸壁の実験を行って、地震動の継続時間の違いによるケーソンの変位について検討した。また、ゆるい地盤と密な地盤を想定して、密度の違いについても調べている。動的地盤解析は骨格構造の違いを表現できる弾塑性構成式（SYS カムクレイモデル）と、2相混合体理論を基礎とした水～土連成解析および大変形まで考慮できる有限変形理論をもとに作られた解析コード **GEOASIA**(Asaoka and Noda(2007))による振動台実験のシミュレートを行い、そのパフォーマンスを確認した。

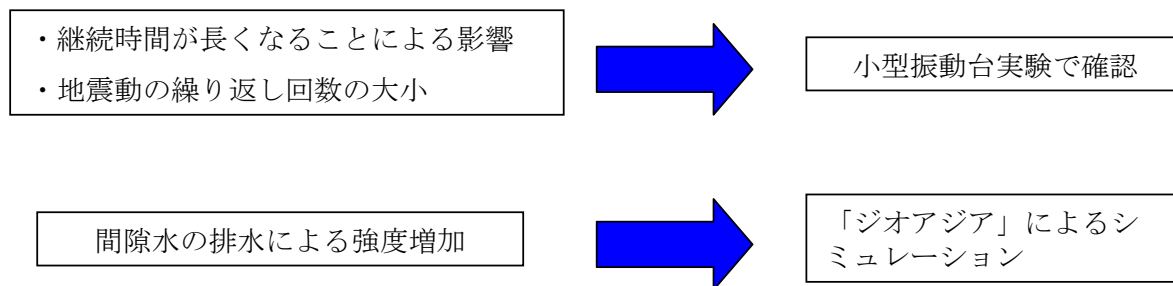
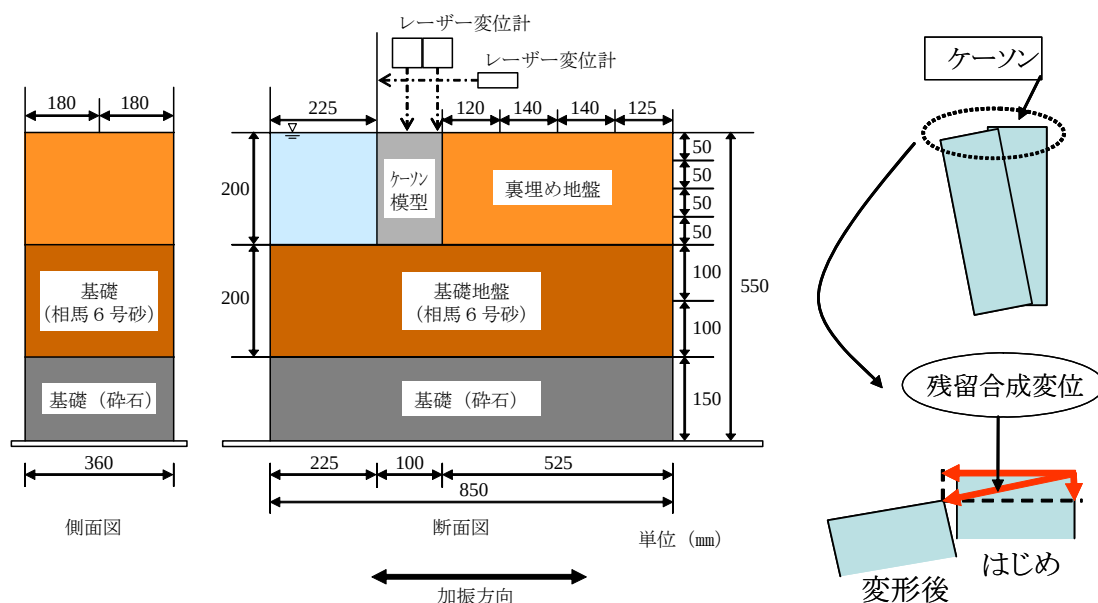


図2 課題と解決策

3. 小型振動台実験

裏埋め地盤は、ゆるい地盤と密な地盤を想定している。入力した地震動は周波数 20Hz、振幅 200Gal の正弦波で、継続時間が 0.25, 1.0, 5.0 秒のものと、図1の想定される地震動（シナリオ波）である。ケーソンの残留合成変位（図3-2）を観測した。

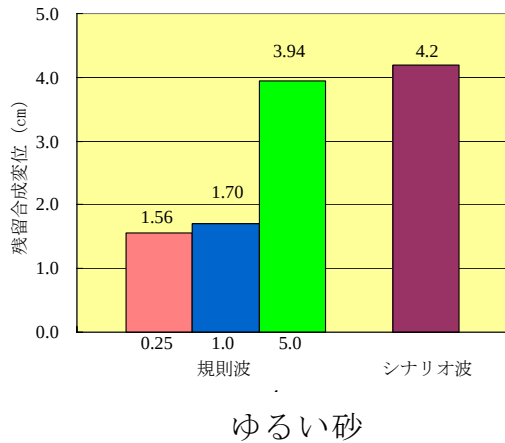


※ケーソン岸壁の特徴

海水（水）とコンクリート剛体と地盤の連成で複雑な挙動になる。

図3-1 振動台実験

図3-2 残留合成変位



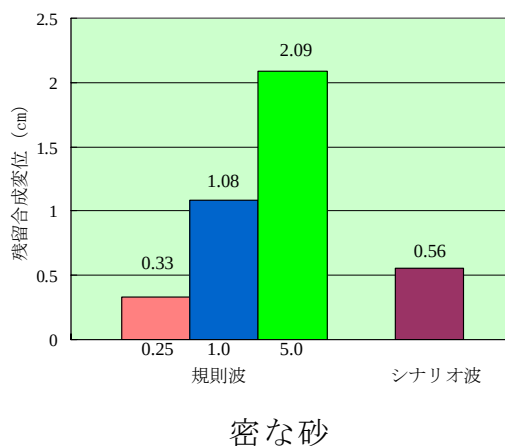
ゆるい砂：

「継続時間0.25秒と1.0秒の残留合成変位がほぼ同じ」

→ 0.25秒の時は加振終了後に側方流動によるケーソンの移動が発生（液状化した後間隙水圧がなかなか消散しないため）

「シナリオ波は継続時間5.0秒とほぼ同じ」

→ 継続時間が長くなると加振中に液状化した後の繰返し回数の増加に伴いケーソンの変位が大きくなる



密な砂：

「継続時間が長くなると残留合成変位が大きくなる」

→ 継続時間の影響が強い

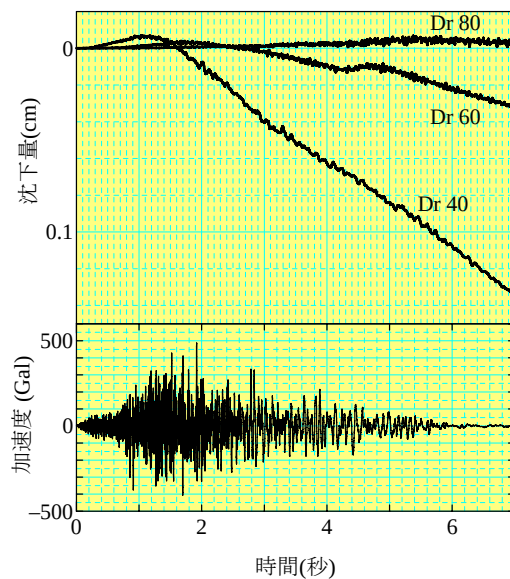
「シナリオ波は継続時間0.25秒とほぼ同じ」

→ 継続時間が長くなると排水され間隙水圧が消散する

密な砂は振幅比の小さい繰返し三軸試験と同じように変位の増減の繰返しによってあまり残留合成変位が発生しない

図4 裏埋め地盤の違いによるケーソンの残留合成変位

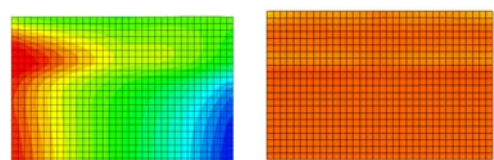
4. シミュレーション



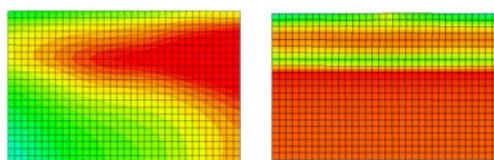
水平堆積砂地盤の振動台実験の数値解析を行った。これは、図3-1のケーソンを設置していない場合で、基礎地盤の上に3つの密度の水平地盤を想定している。入力した加速度は、図1の想定される地震動（シナリオ波）である。

相対密度 (D_r) 40%の地盤は、加振中に沈下が生じて、しかも加振後さらに大きな沈下が生じた。密な地盤（相対密度が大きくなる）ほど、沈下量が小さくなり、実験結果と同等であることが分かった。

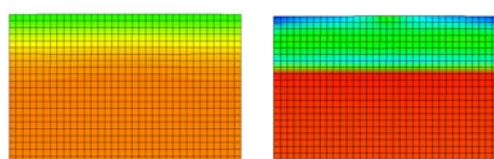
図5 沈下時間関係（数値計算）



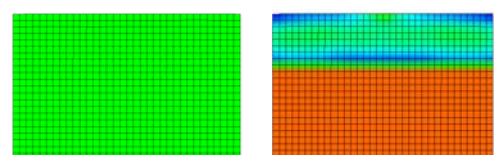
1.3 秒後（加振中）



4.4 秒後（加振中）



18.9 秒後（加振後）



最終



過剰水圧

間隙比変化

図 6-1 ゆるい砂のコンター

加振中・加振後のゆるい砂の間隙水圧(値が大きいほど正の間隙水圧)と間隙比変化(値が小さいほど圧縮している)

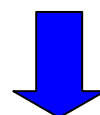
加振中

液状化→過剰間隙水圧発生

加振後

過剰間隙水圧の消散

間隙の圧縮・圧密



この解析コードは加振・加振後すべての計算が可能！

図 6-2 解析コードのパフォーマンス

5. 現時点での評価

今回使用した解析コードは、実験結果を良好に再現することができ、主要動の長い地震での構造物の挙動に適用可能であると考えられる。さらに、過去の地震の調査や要素試験、振動台実験を行い、継続時間を考慮した液状化判定法の提案に取り組んでいる。また、この動的／静的解析は砂地盤だけでなく粘性土・中間土地盤にも適用で

きることから、現地実験や過去の地震に対しての活用を検討している。

6. おわりに

継続時間の長い地震動の液状化判定や高度な動的解析は、社会的にも必要な技術である。本研究は実験および解析、両面のアプローチで推進されており、これらの技術の確立は安全・安心な港湾整備を適切なコストで実施するために必須のものと考えられる。同時に、切迫性が高まっている海溝型巨大地震対策の一環として、一刻も早く技術を確立する必要がある。

本解析は名古屋大学地盤力学研究室にご協力いただいた。この場をお借りして、心から謝意を表します。

7. 参考文献

Asaoka, A. and Noda, T.(2007):All Soils All States All Round Geo-analysis Integration, International Workshop on Constitutive Modelling - Development, Implementation, Evaluation, and Application, Hong Kong, China, pp.11-27.