

軟弱地盤免震を考慮した橋梁構造物の耐震設計

佐賀大学大学院工学系研究科

学生会員

○中原一隆

正会員

荒牧軍治

正会員

古賀勝喜

1. まえがき

通常、加速度応答スペクトルが長周期側の大きく減少する事象を利用することを免震と呼ぶ。Ⅲ種地盤の中でも特に軟らかい有明粘土層が堆積する佐賀平野においては固有周期が1秒以下の短周期側になると加速度応答スペクトルが小さくなっている(図-1太線)。この性質を利用すると、佐賀平野においては剛性が高く固有周期が短い橋梁構造形式の方が有利であると考えられ、超軟弱な地盤で起こる特殊な免震『軟弱地盤免震』と呼ぶこととする。

本研究では佐賀平野の軟弱地盤において構造物の固有周期を変化させ地震時解析を行い、軟弱地盤免震について検証した。

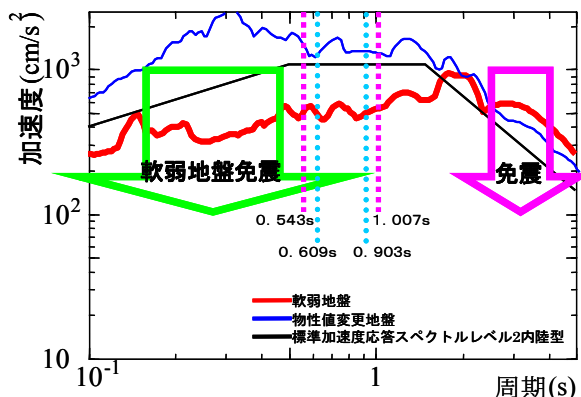


図-1 コンクリート標準示方書レベル2内陸型

2. 地盤と地震波

本研究では佐賀平野の軟弱地盤として佐賀郡久保田町の物性値を用いて解析を行った。この地盤はせん断弾性波速度 $V_s=58(\text{m/s})$ 、 N 値=0 という非常に軟弱な地盤であり佐賀平野一帯にこのような地盤が広がっている。これと比較する地盤として V_s を $58(\text{m/s})$ の層を仮想的に $160(\text{m/s})$ に変化させた比較的硬い軟弱地盤を用いた。なお、以下では物性値を仮想的に変更した地盤を久保田改地盤と呼ぶことにする。

入力地震動として今回はコンクリート標準示方書に準拠したレベル1を1波形、レベル2海洋型を2波形、レベル2内陸型を2波形によって久保田、久保田改地盤を通した地震波を作成し解析に用いた。図-2はレベル2内陸型の地表面加速度であり、構造物入力用に地域別補正係数で補正したものである。最大値を比較すると久保田改地盤の 418gal に対して久保田地盤は 190gal となっている。

佐賀郡 久保田町 減衰定数=0.05			
地盤特性	深度(m)	$V_s(\text{m/s})$	$\gamma(\text{KN/m}^3)$
盛土層	0.63	58	15.696
蓮池層上部	1.7	58	15.696
有明粘土	2.43	58	14.715
	9.05	58	14.715
蓮池層下部	10.1	58	14.715
	11.8	160	16.677
三田川層	12.92	160	16.677
	20.81	210	17.658
阿蘇-4火砕流堆積物	23.64	240	14.715
中原層上部	24.62	240	14.715
	30.33	170	14.715
	32.27	170	17.658
中原層下部	40.7	290	18.639
	50	350	19.62

表-1 解析に用いた地盤の物性値

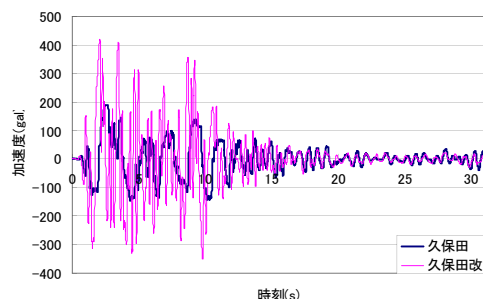


図-2 入力地震波

3. 解析方法とモデル

解析にはFORUM8社のUC-win/Frames(3D)のファイバーモデルを用いた。これは剛体リンク・分布ばね要素と言う要素を用い、線要素にモデル化できる鋼製部材や鉄筋コンクリート部材の非弾性状を考慮することができ、軸力も逐次計算し解析を行う。

最初に単柱橋脚の応答を検証するために「日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料」に掲載されている単柱橋脚をモデルに解析を行った。次に軟弱地盤上での橋

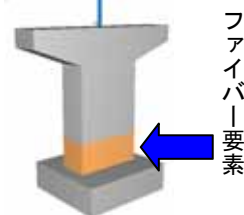


図-3 単柱橋脚モデル

梁構造全体の応答を検証するために FORUM8 社の「解析事例および技術資料 Ver.1.07」に掲載されているラーメン橋をベースにモデルを作成し解析を行った。

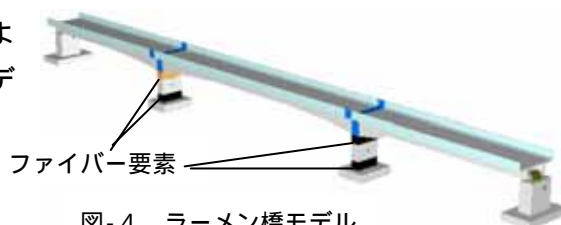


図-4 ラーメン橋モデル

4. 解析結果

(1) 単柱橋脚

まずは単柱橋脚に免震支承及び剛結支承を用いたモデルを作成し解析を行った。図-5は図-2に示したレベル2内陸型地震動を入力した際の橋脚基部の M- ϕ 関係をグラフ化したものである。初降伏時の曲率を ϕ_{yo} 、最大曲率を ϕ_m とし、 ϕ_m/ϕ_{yo} の値を塑性率として求めると、久保田地盤が 0.43 と弾性範囲内に収まっているのに対し、久保田改地盤では 3.79 と塑性化しているのが分かる。図-1の加速度応答スペクトルのグラフで $T=0.903s$ の時の加速度を見ると久保田地盤の 350gal に対して久保田改地盤の 950gal と約 2.7 倍の加速度となっている。同様に支承部分を剛結に変更したモデルの解析を行うと久保田地盤の 0.48 に対し久保田改地盤の 5.08 となった。 $T=0.609s$ の時の加速度を見ると久保田地盤の 400gal に対して久保田改地盤の 900gal と約 2.2 倍の加速度となっている。両モデルとも図-1に示す加速度応答スペクトル図の加速度の応じた M- ϕ 関係の結果となったと言える。

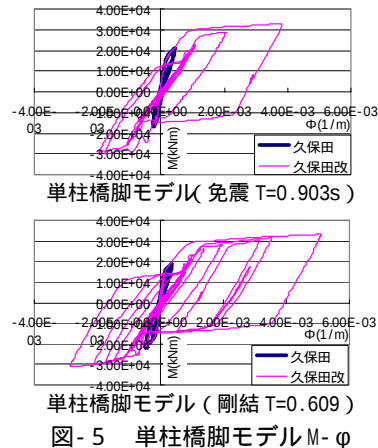


図-5 単柱橋脚モデル M- ϕ

(2) ラーメン橋

ラーメン橋モデルについても地盤ばねを変更して $T=0.543s$ の短周期モデルと $T=1.007s$ の長周期モデルを作成し解析を行い、単柱橋脚と同様に検証した。まずは短周期モデルについて塑性率を求めると、久保田地盤の上 0.50 下 0.11 に対して、久保田改地盤の上 3.38 下 2.35 となっており、スペクトル図で $T=0.543s$ を見ると久保田地盤の 350gal に対して久保田改地盤の 1050gal と約 3 倍の加速度の差となっている。次に長周期モデルについて塑性率を求めると、久保田地盤の上 3.31 下 0.05 に対して、久保田改地盤の上 12.28 下 0.61 となっており、 $T=1.007s$ を見ると久保田地盤の 400gal に対して久保田改地盤の 900gal と約 2.2 倍の加速度の差となった。この結果から単柱橋脚と同様に加速度応答スペクトル図の加速度に準拠した M- ϕ 関係の結果となったと言える。

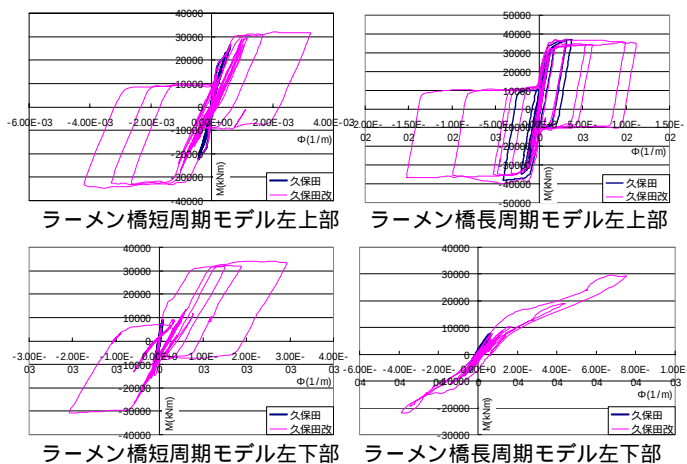


図-6 ラーメン橋モデル M- ϕ

5. まとめ

以上の結果をまとめると佐賀平野の軟弱地盤上では固有周期が 1 秒以下になると加速度が減少する軟弱地盤免震が起こると考えられ、構造物の解析を行ってみても軟弱地盤免震の効果によって構造物の応答が小さくなったことが確認できた。この事は他に解析を行った内陸型や海洋型地震動でも同様であった。佐賀平野のような超軟弱地盤で実際に設計する際には、ラーメン橋脚やラーメン橋など固有周期が 0.3 秒前後の短周期な構造物を設計することで今の基準よりも低い基準で設計することが可能になる。

参考文献

1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編 平成 14 年 3 月

2) (株)フォーラムエイト：UC-win/Frames(3D)参考資料 解析事例および技術資料 Ver1.07