

M9地震を踏まえた設計地震動と液状化判定法

国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター
(独) 土木研究所 地質・地盤研究グループ

東日本大震災を踏まえた

- 道路橋示方書の設計地震動改定
- 液状化判定法（FL法）の実証的検証

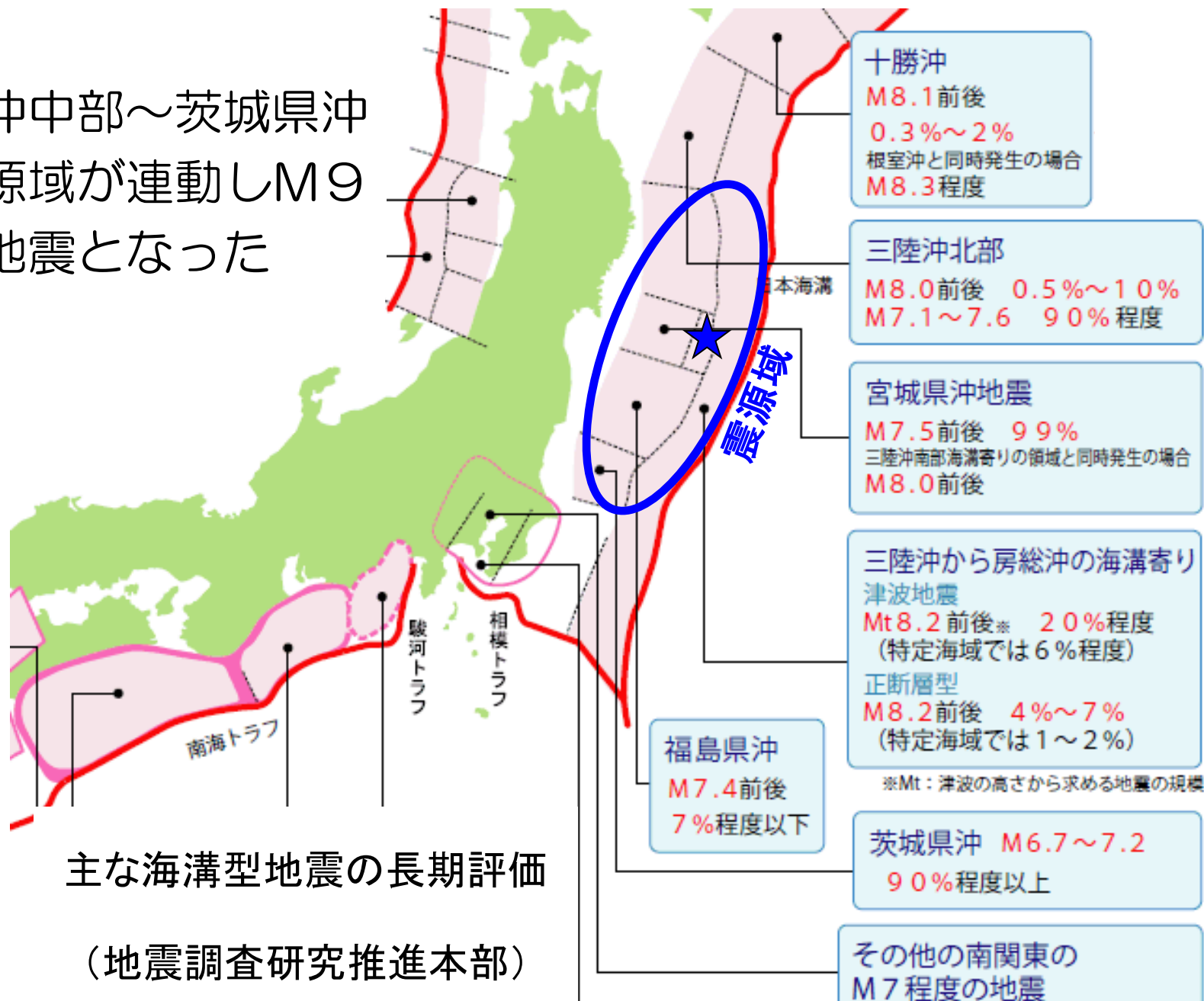
M9地震を踏まえた設計地震動の改定

道路橋示方書の改定(H24.2.16)に反映

- 震源域の連動による巨大地震の影響を考慮
- 継続時間の長い地震動特性の影響を考慮

課題1：考慮されていなかった震源域の連動

三陸沖中部～茨城県沖の震源域が連動しM9巨大地震となった

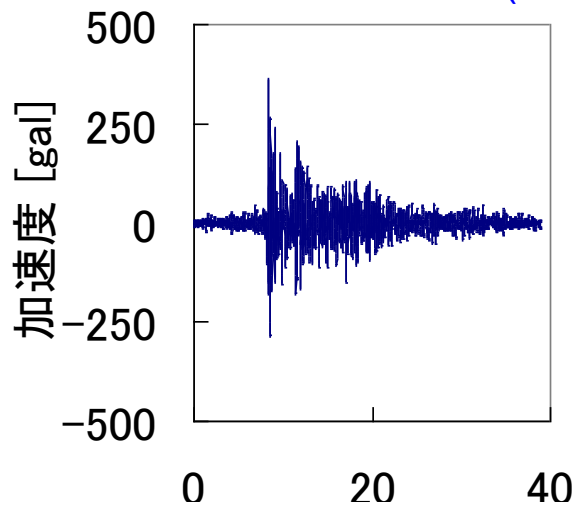


課題2：継続時間が長い地震動

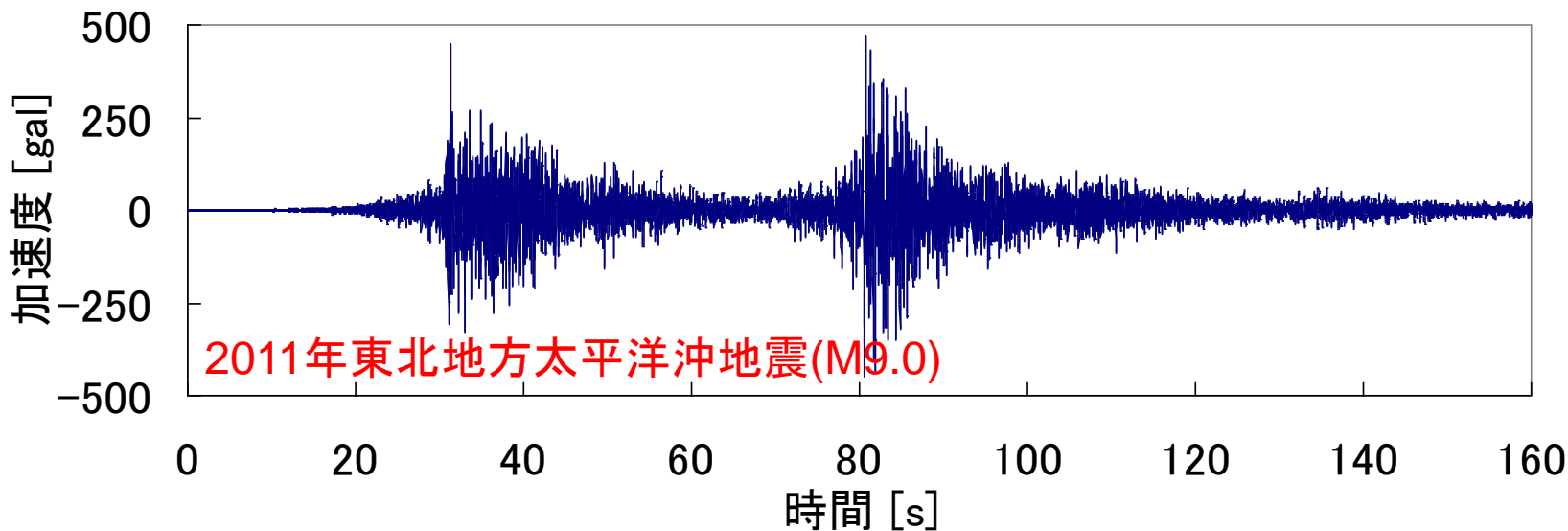
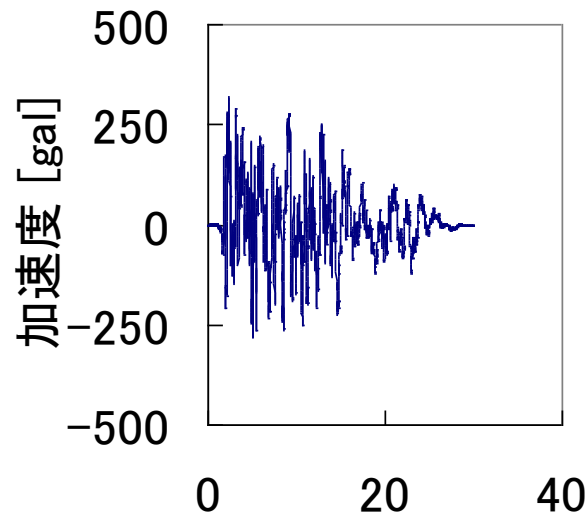
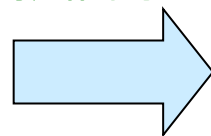
開北橋周辺地盤上の強震記録

道路橋の耐震設計(動的照査)に用いる加速度波形

1978年宮城県沖地震(M7.4)

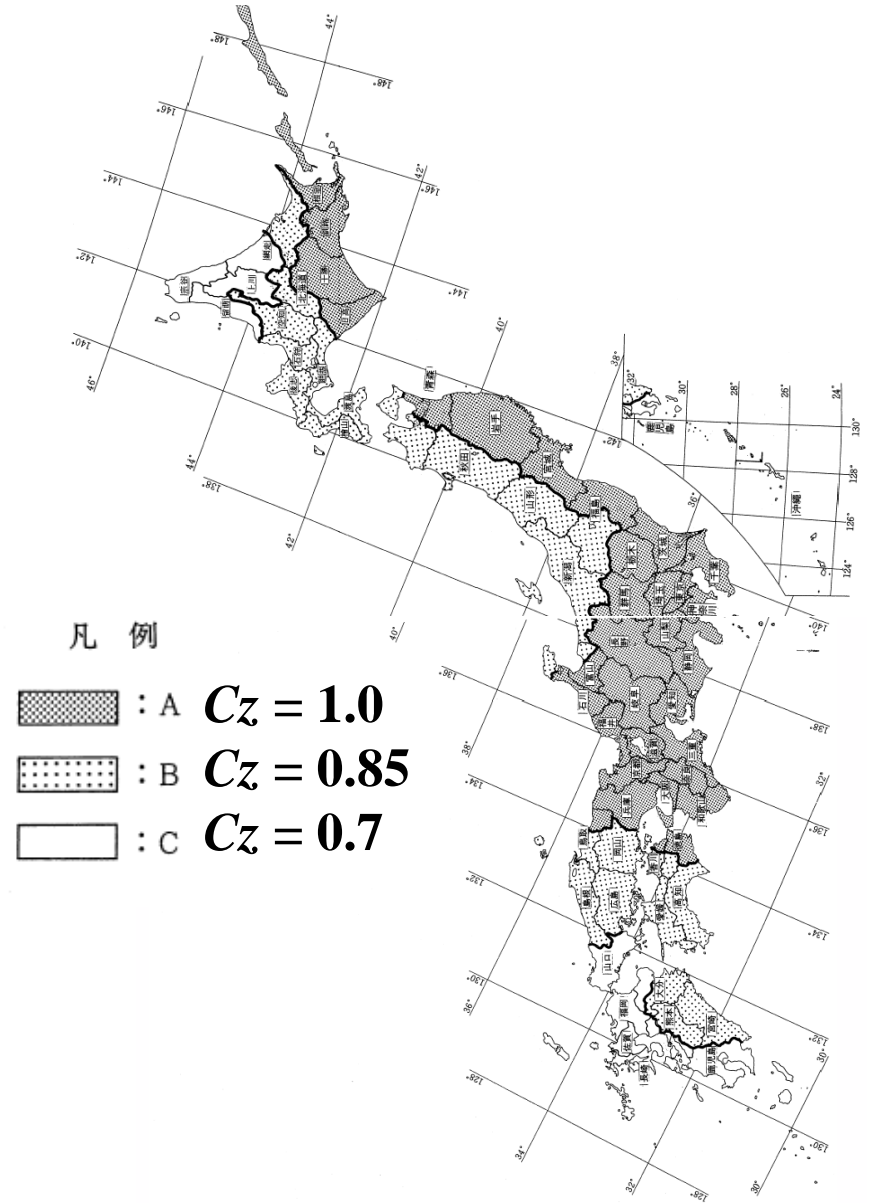
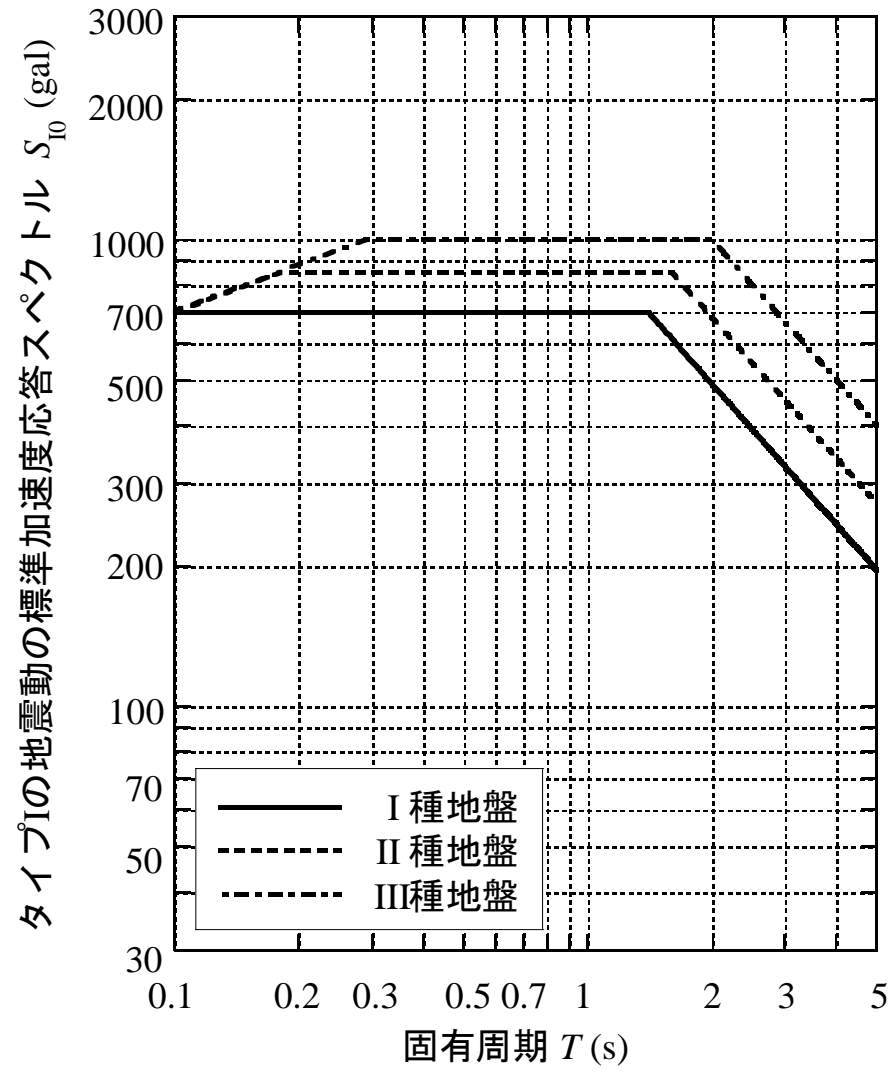


周期ごとに
振幅調整



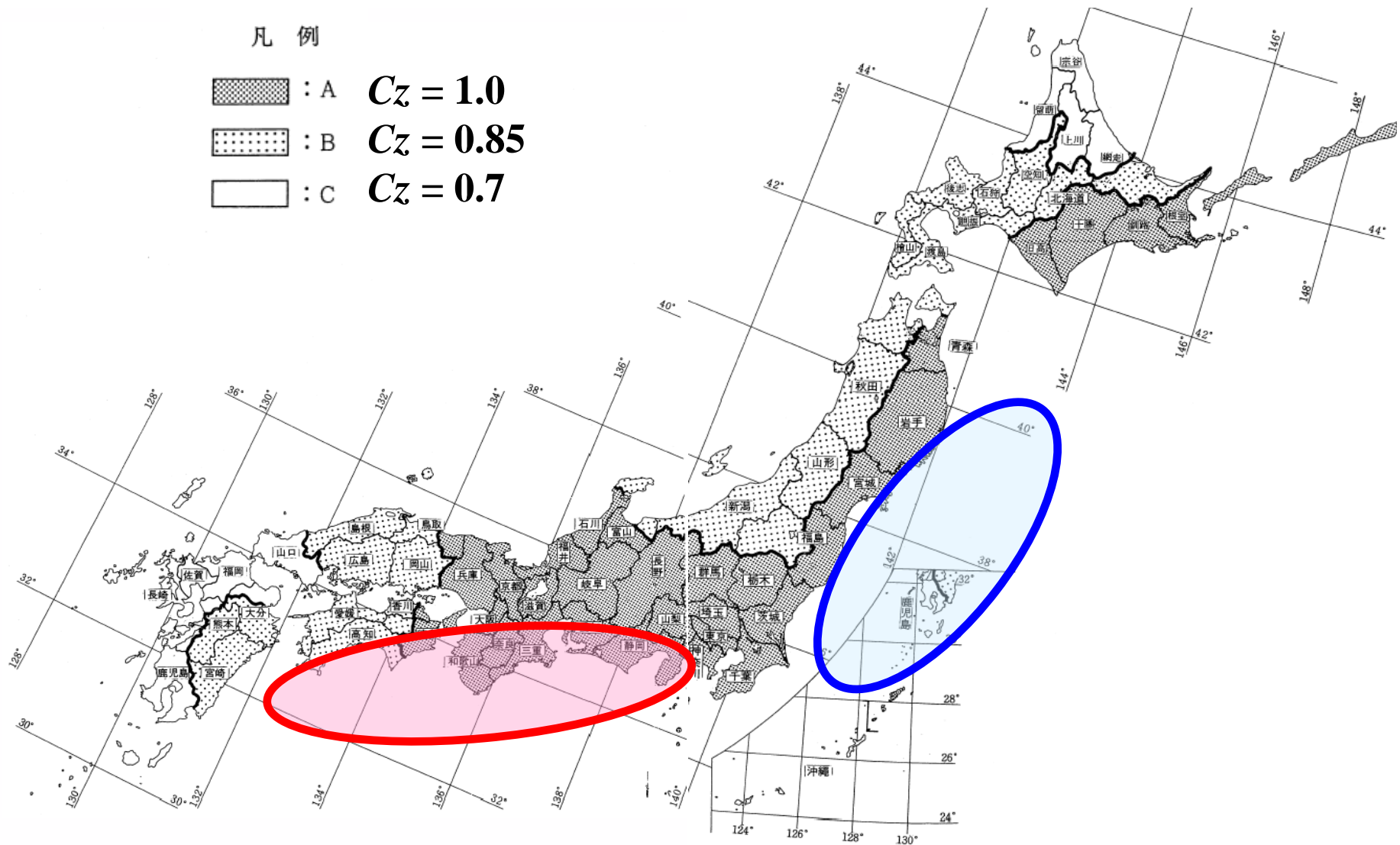
道路橋の設計地震動（道路橋示方書に規定）

標準加速度応答スペクトル × 地域別補正係数 C_z

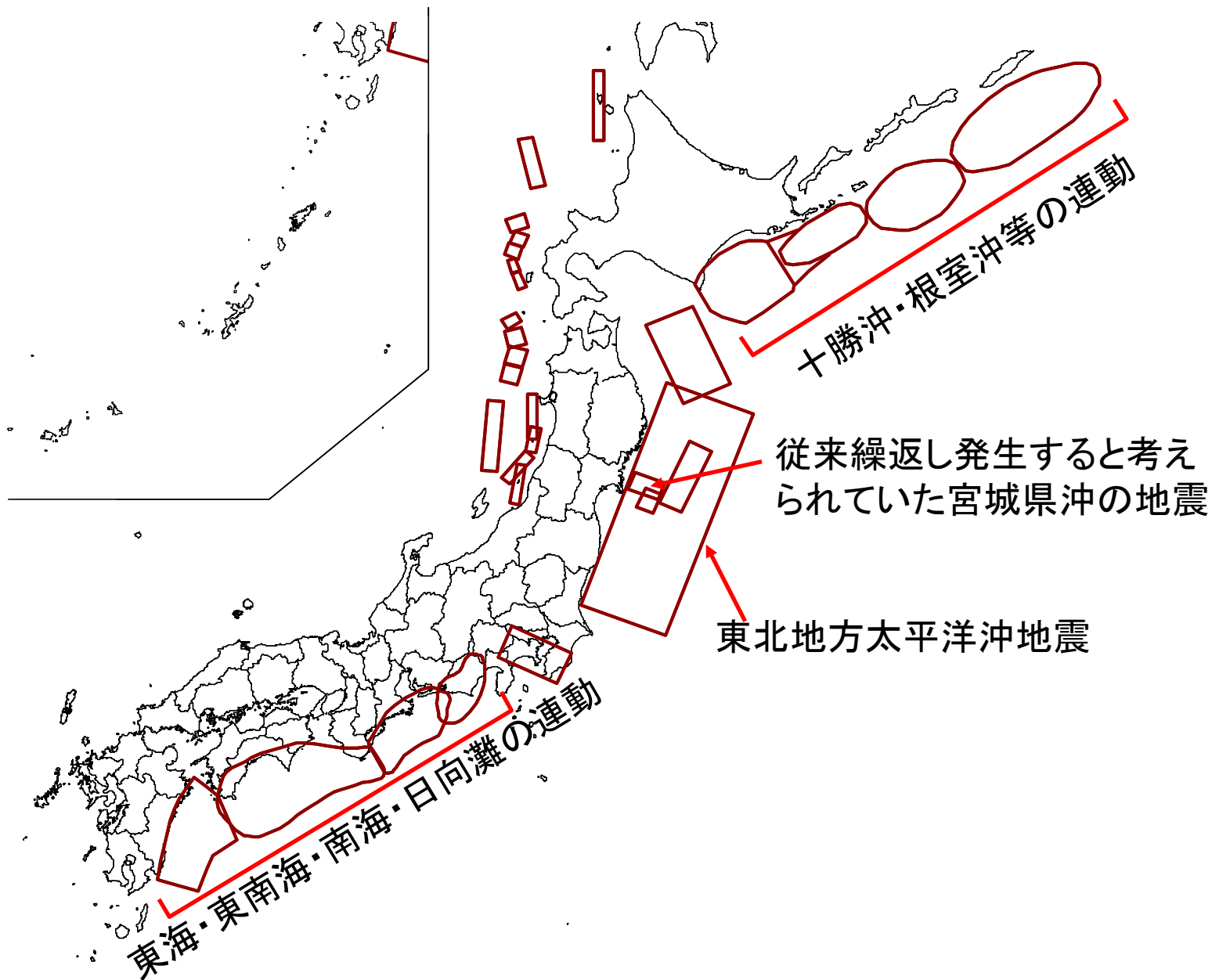


地域別補正係数・地域区分（改定前）

東海・東南海・南海地震を考慮できているか？



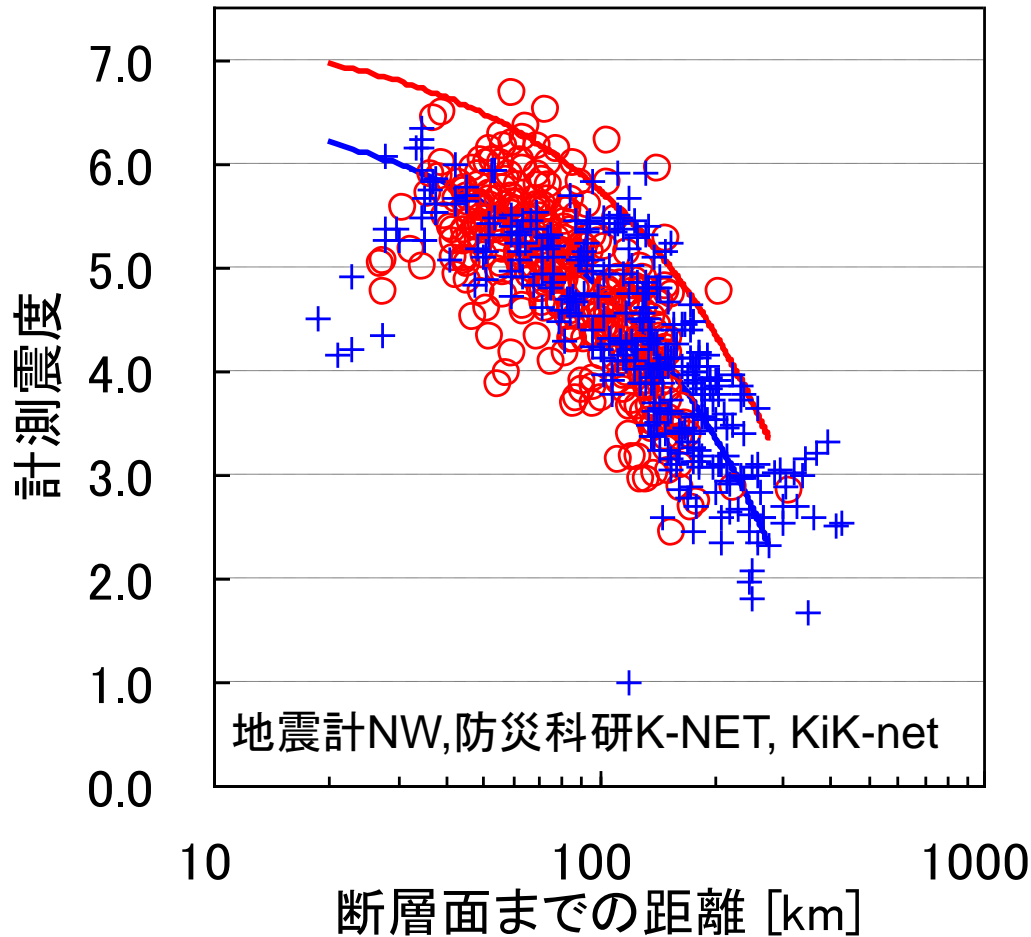
発生を想定したプレート境界型地震の震源域



Mが大きくなると地震動はどこまで大きくなる？

- 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)
- + 2003年十勝沖地震(Mw8.0)
- 距離減衰式(Mw9.0)
- 距離減衰式(Mw8.0)

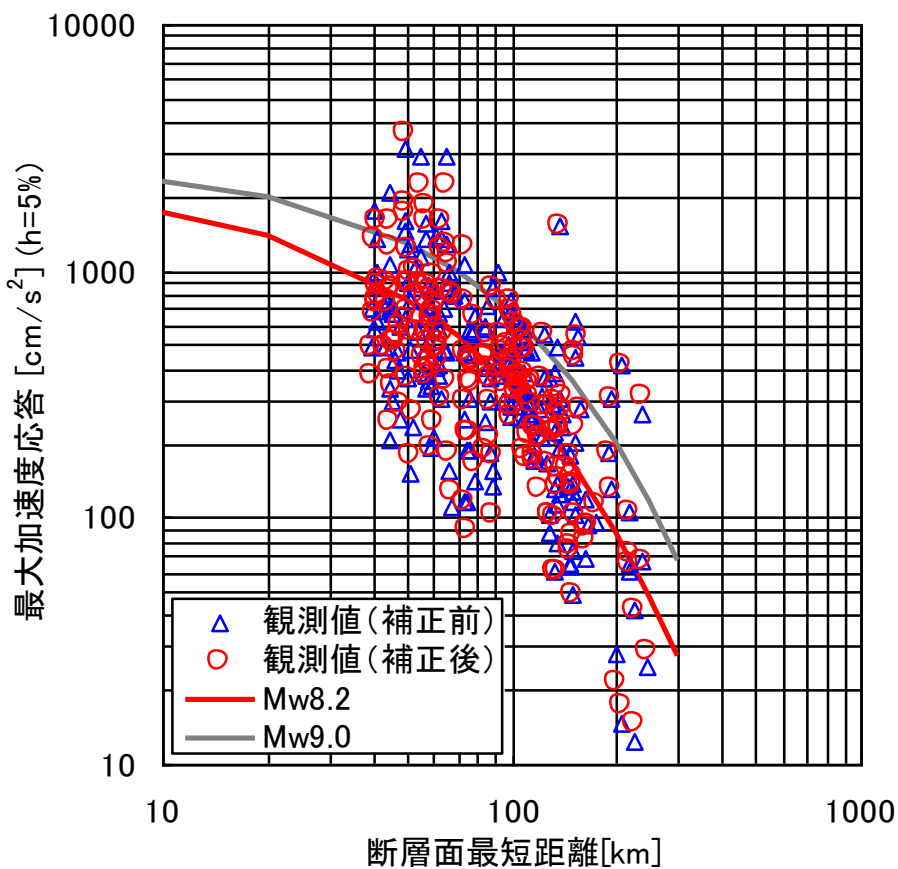
2011.4.26
東日本大震災
調査報告会
発表資料より



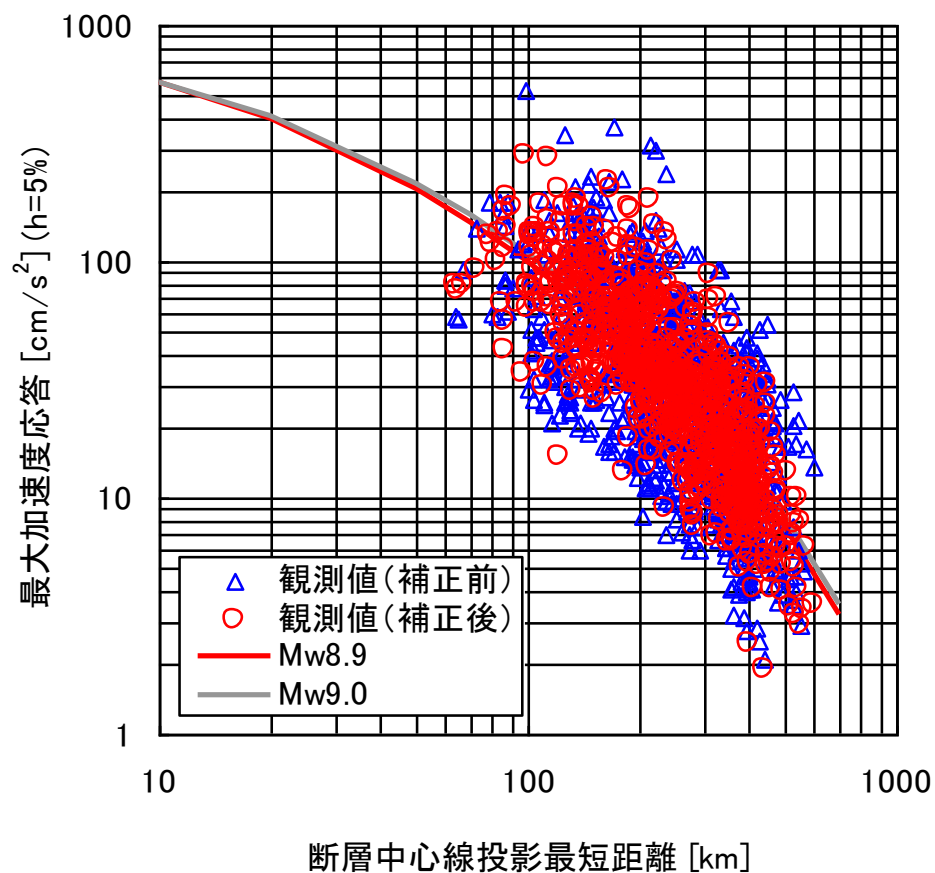
Mが大きくなると地震動はどこまで大きくなる？

東北地方太平洋沖地震の強震記録と距離減衰式を比較

短周期(周期0.6秒)



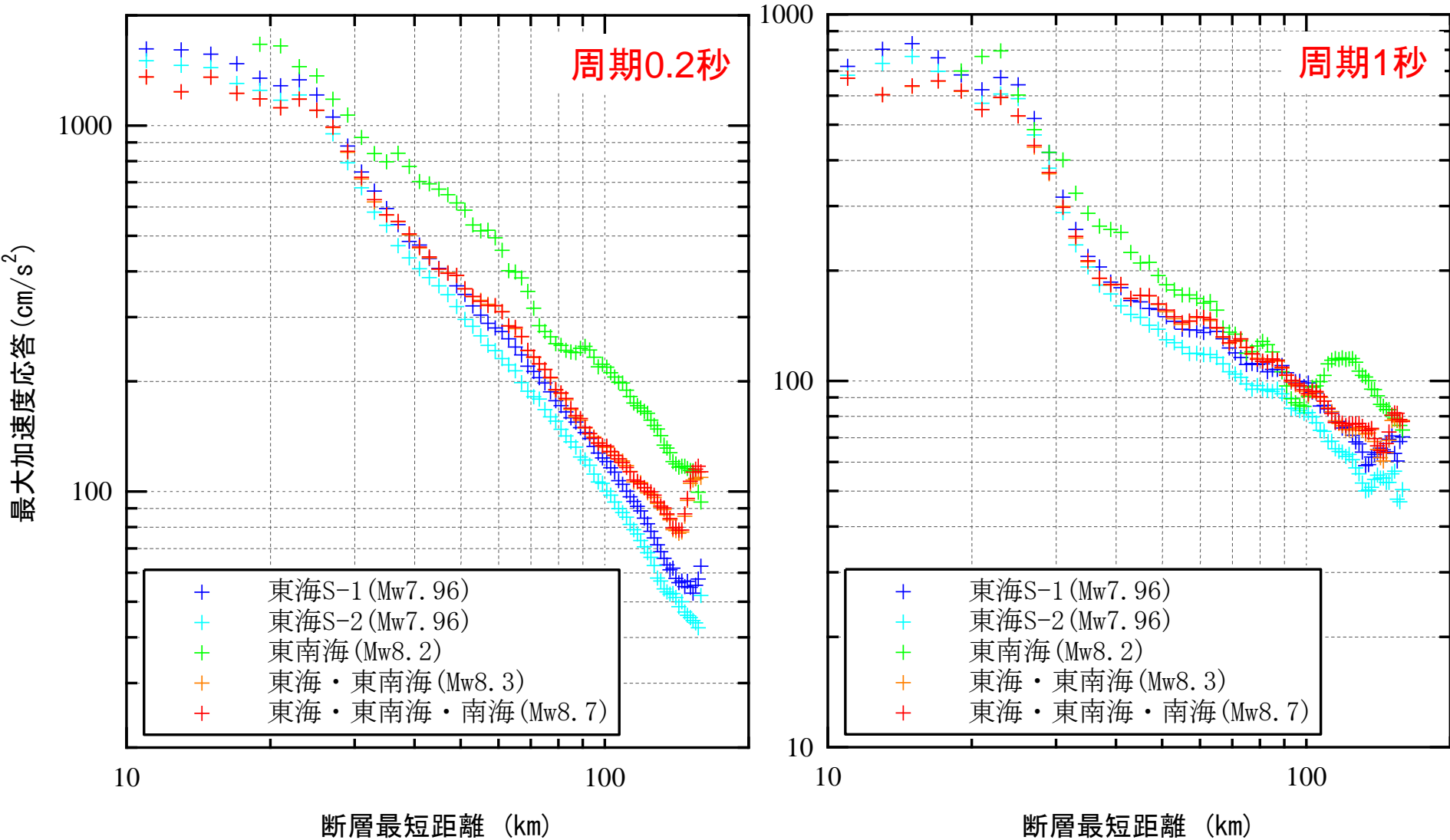
長周期(周期3秒)



短周期・長周期の地震動はそれぞれマグニチュード8.2, 8.9の地震と同等

内閣府推定の地震動も平均値はMw8.2程度で飽和

東南海、南海地震等に関する専門調査会の推定地震動を分析

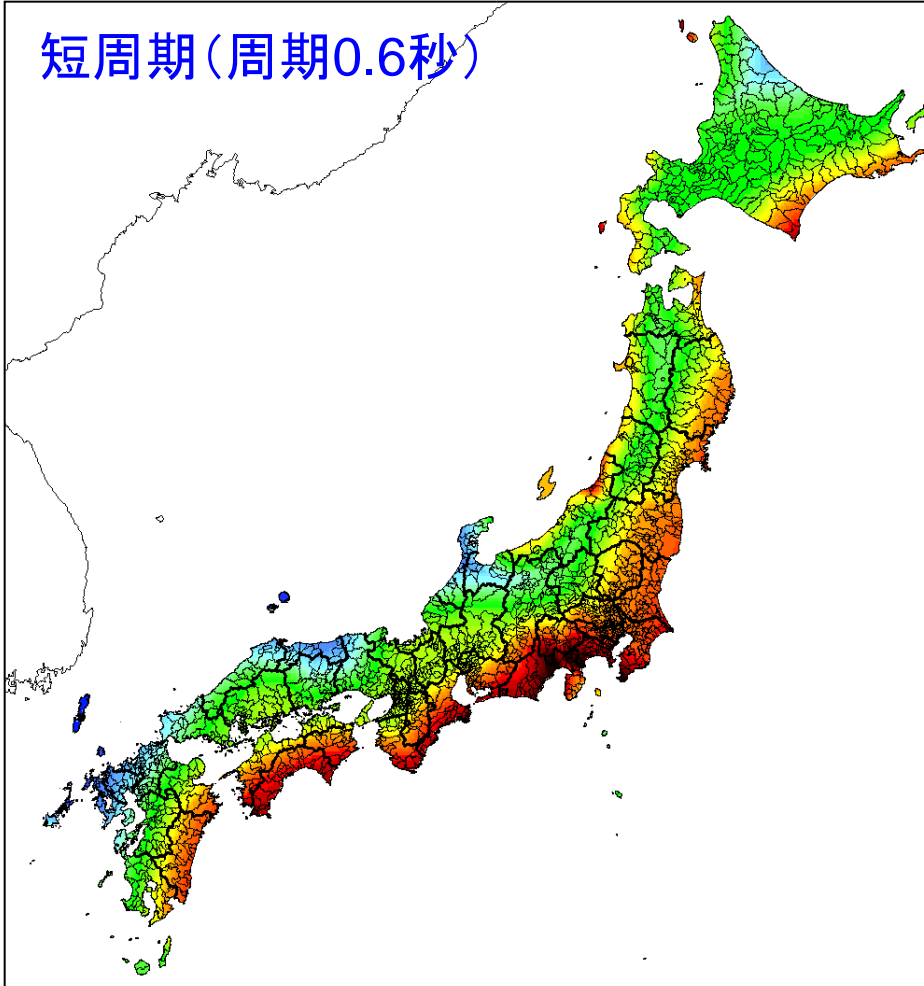


プレート境界型地震による地震動推定結果

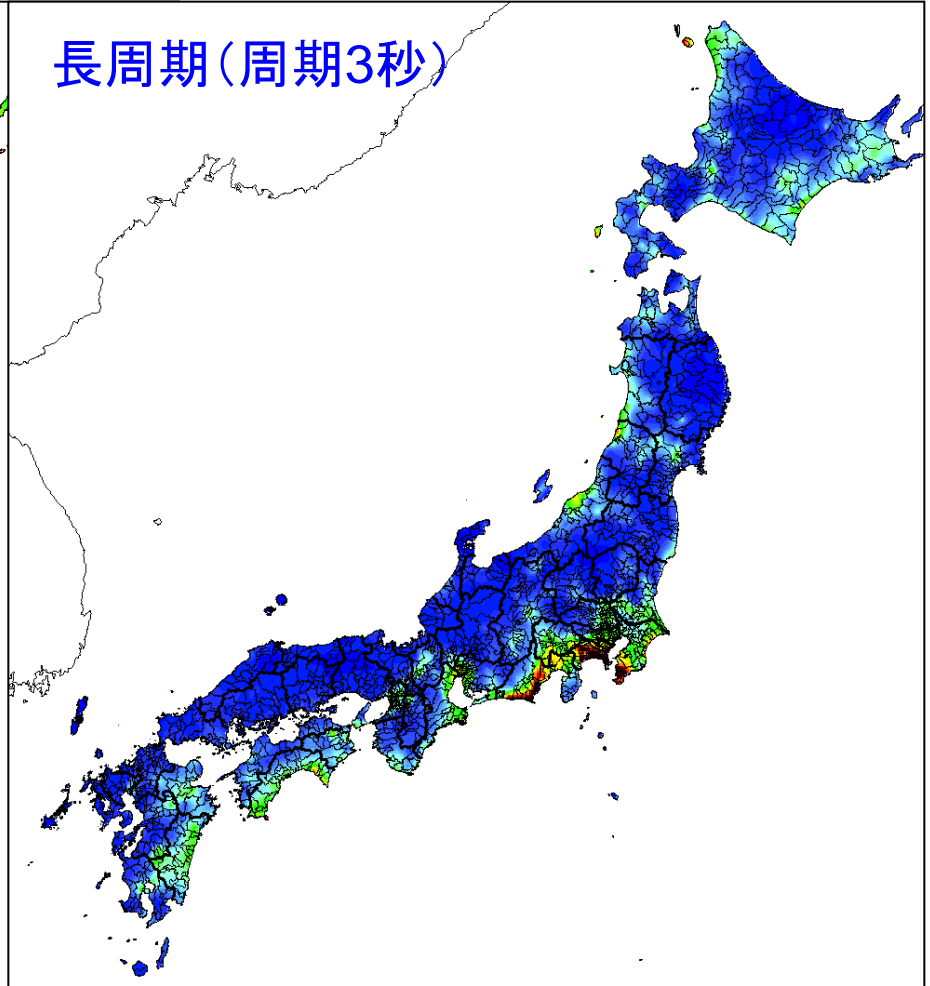
連動型巨大地震については

- 短周期の地震動はM8.3
- 長周期の地震動はM9.0 として推定

短周期(周期0.6秒)



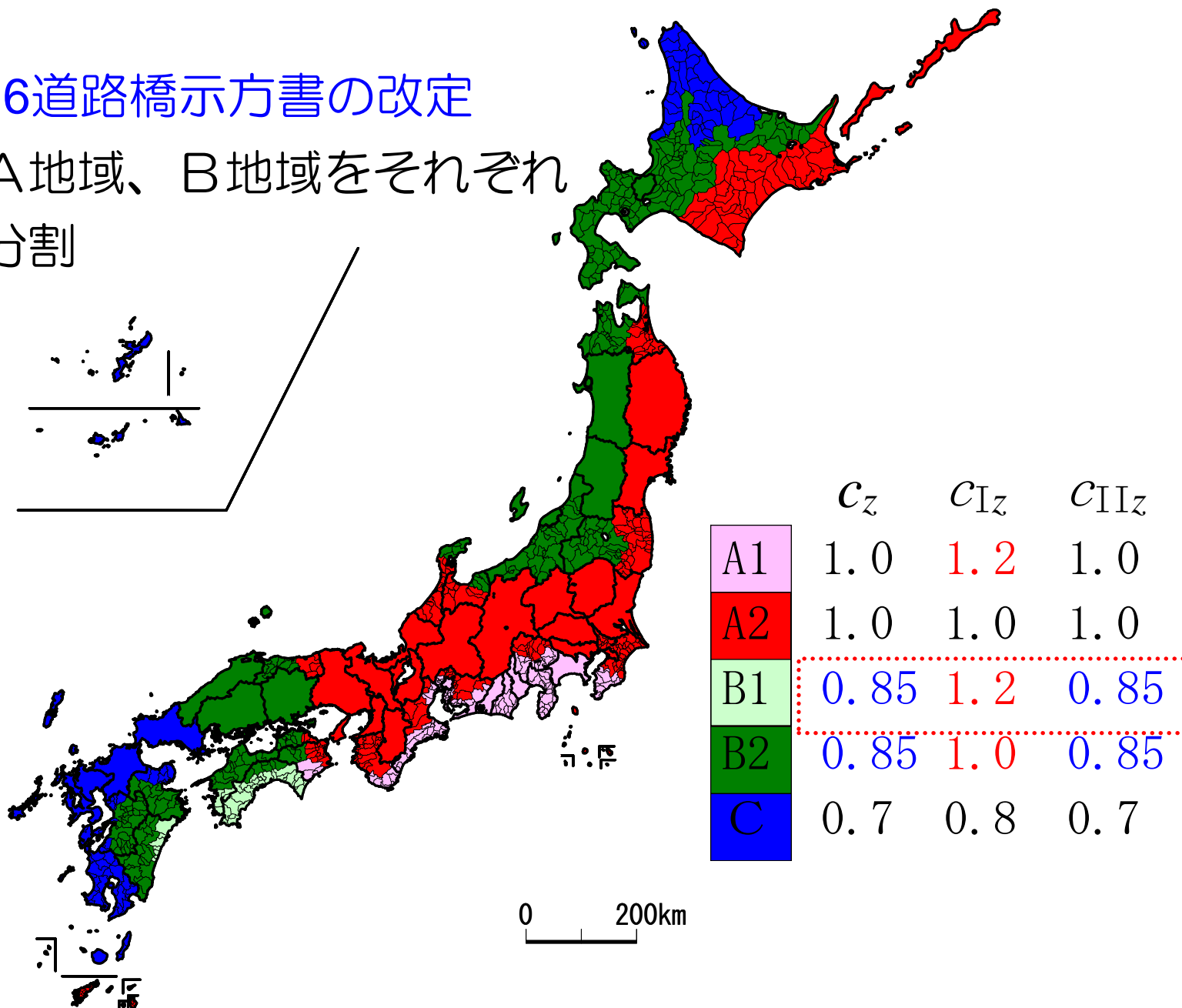
長周期(周期3秒)



改定後の地域別補正係数と地域区分

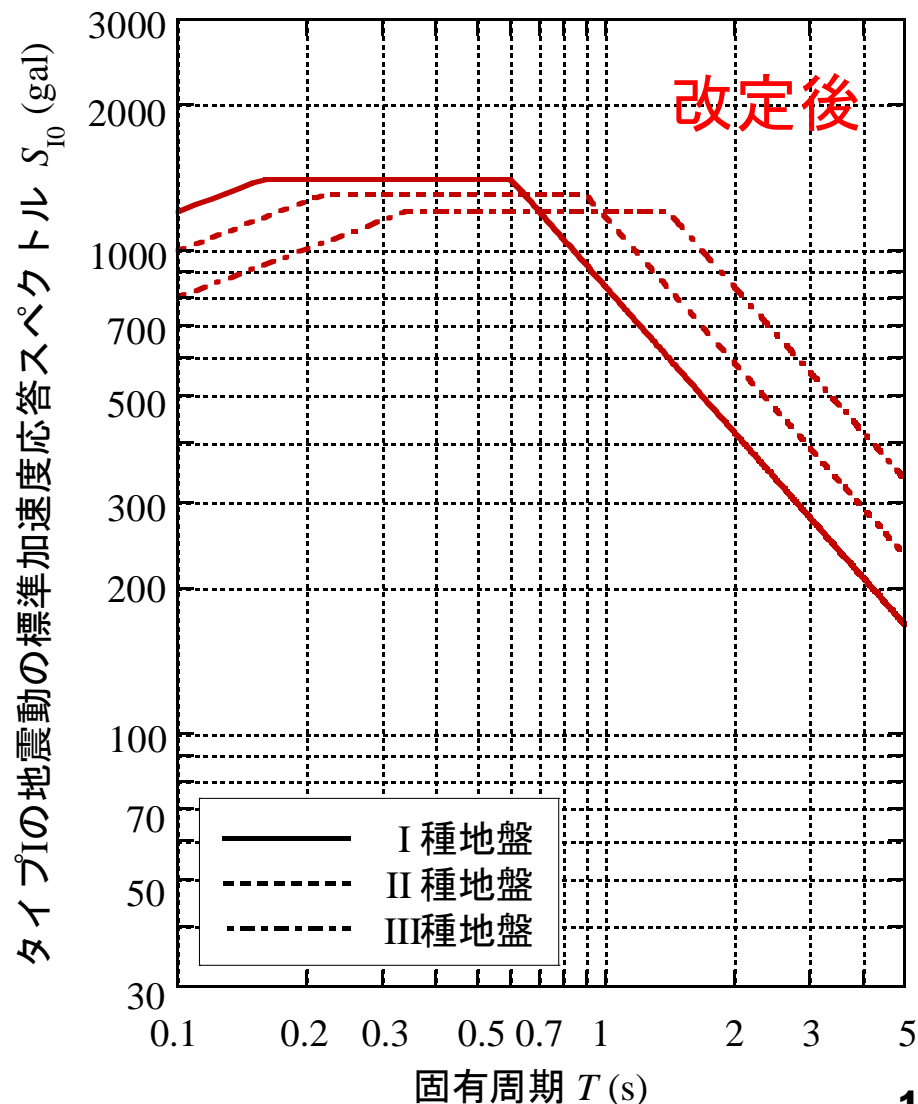
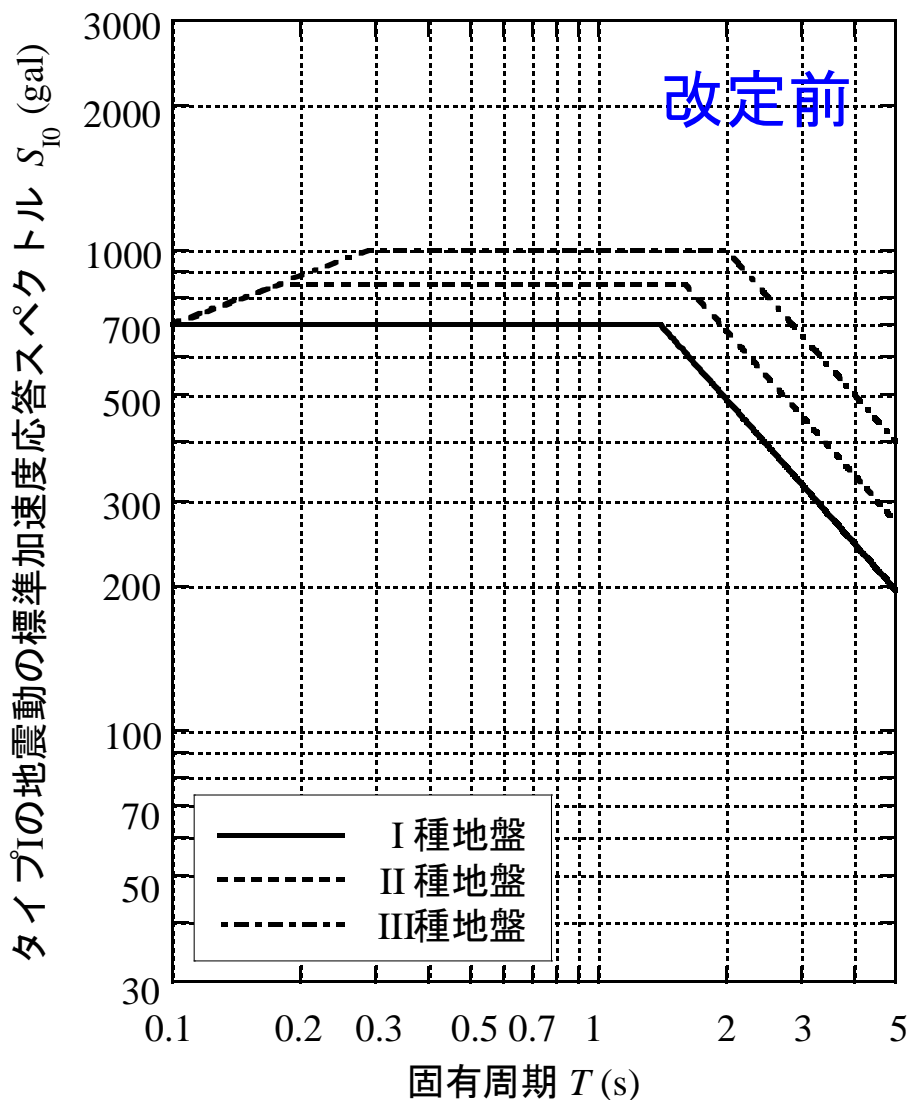
H24.2.16道路橋示方書の改定

従来のA地域、B地域をそれぞれ
2つに分割



標準加速度応答スペクトル S_{I0} の改定

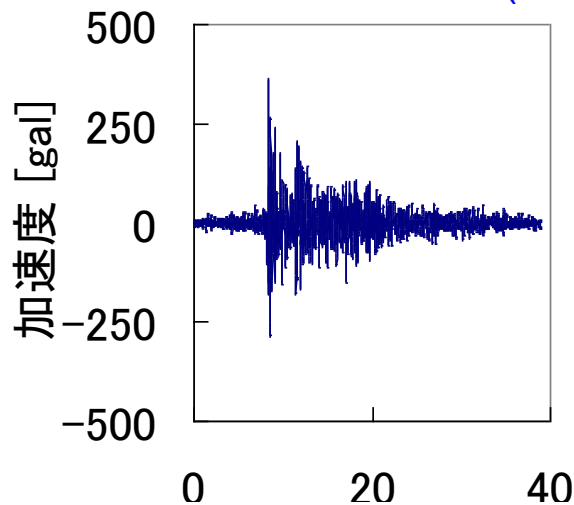
近年の豊富な強震記録の分析結果をもとに改定
(地盤の非線形挙動を考慮)



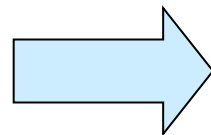
動的照査には時刻歴波形が必要

開北橋周辺地盤上の強震記録

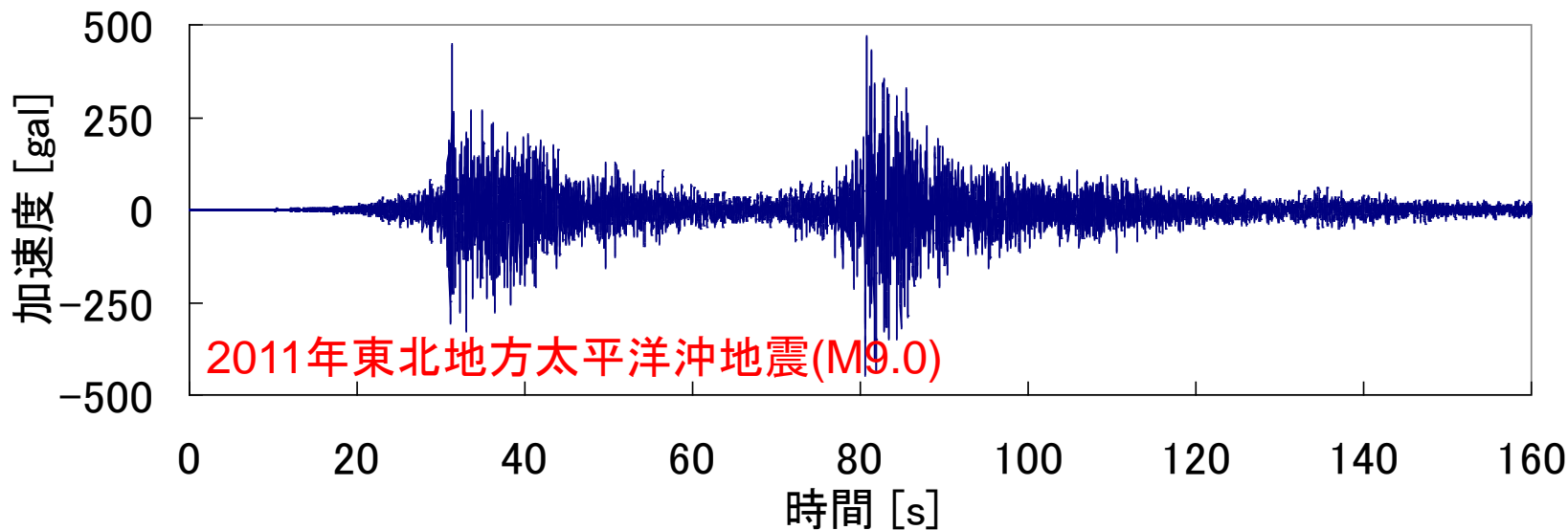
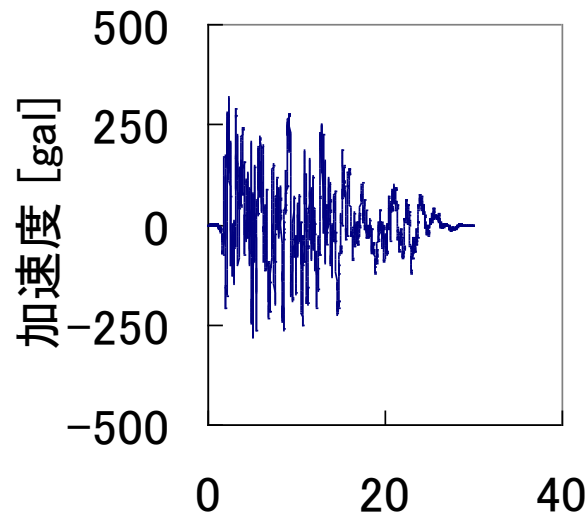
1978年宮城県沖地震(M7.4)



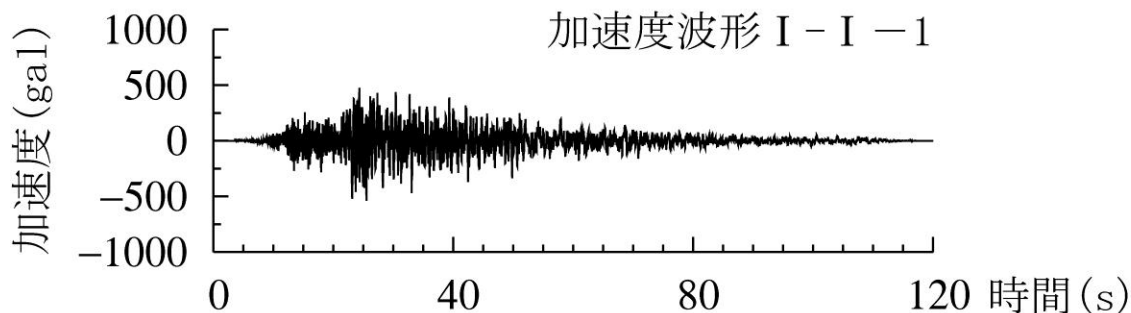
周期ごとに
振幅調整



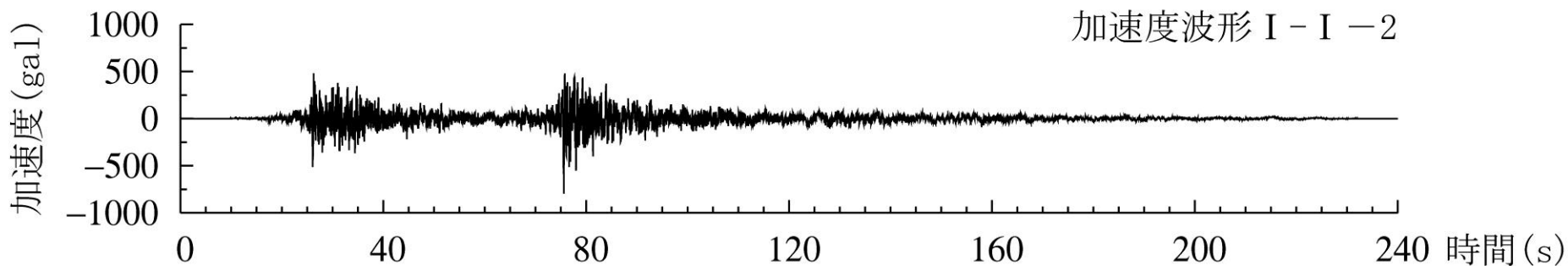
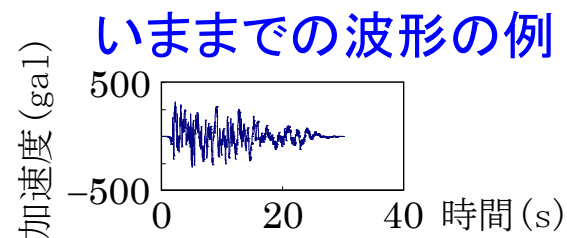
道路橋の耐震設計(動的照査)
に用いる加速度波形



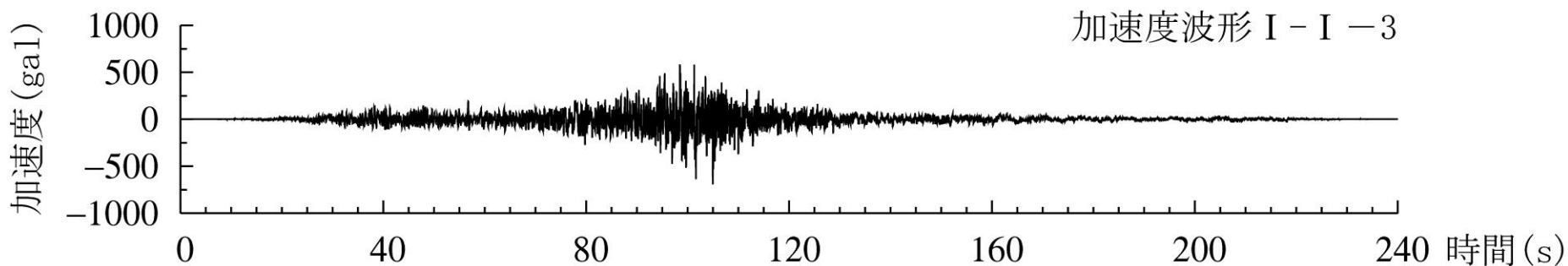
動的照査に用いる加速度波形（I種地盤）



2003年十勝沖地震 清水道路維持出張所構内

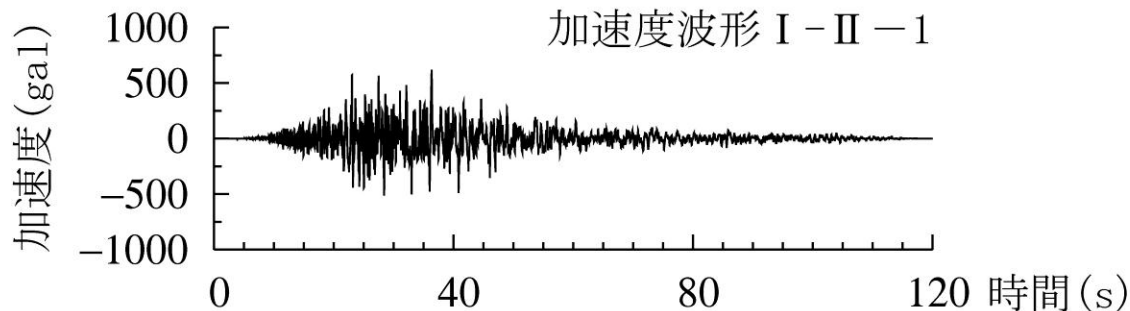


2011年東北地方太平洋沖地震 開北橋周辺

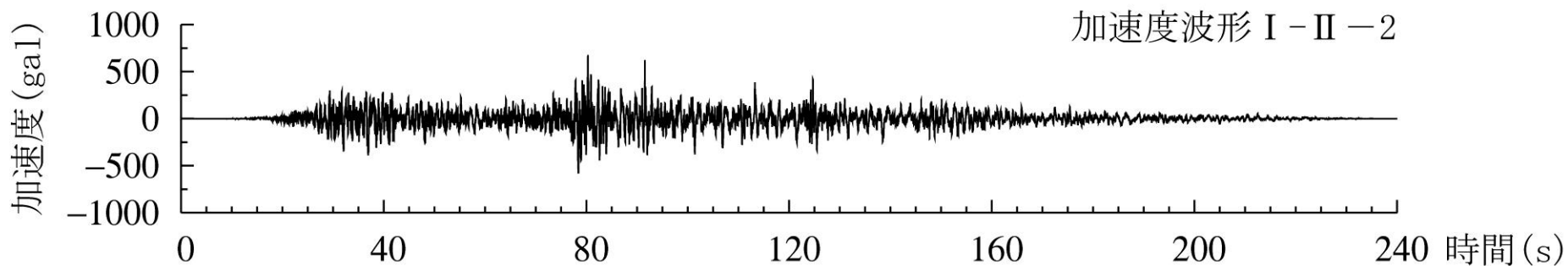


2011年東北地方太平洋沖地震 新晩翠橋周辺

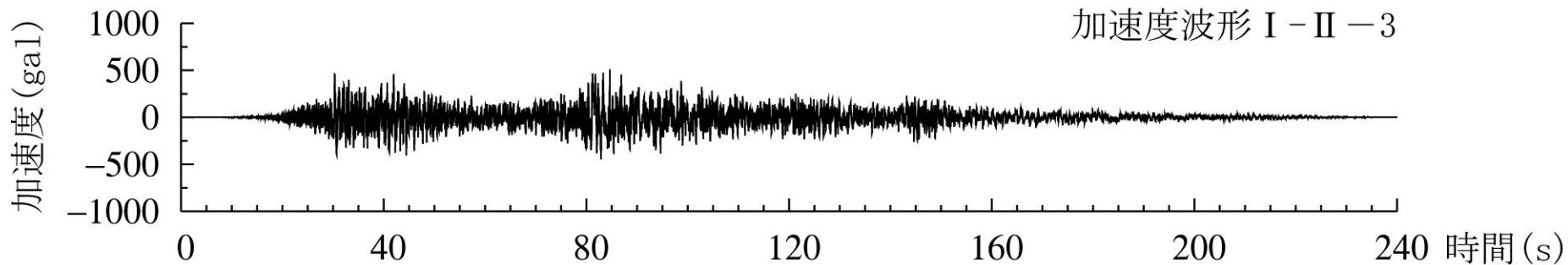
動的照査に用いる加速度波形（Ⅱ種地盤）



2003年十勝沖地震 直別観測点

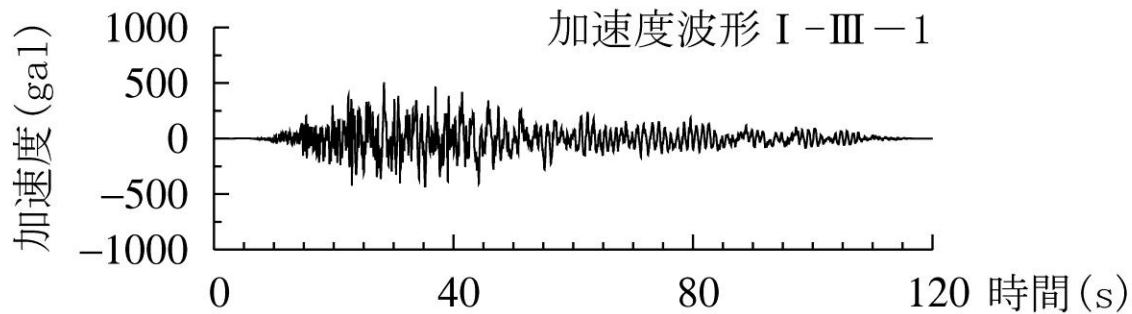


2011年東北地方太平洋沖地震 仙台河川国道事務所

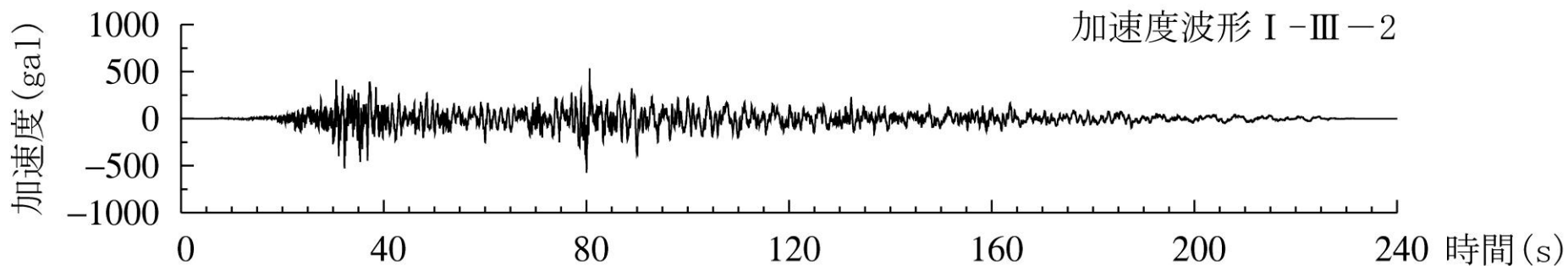


2011年東北地方太平洋沖地震 阿武隈大堰管理所構内

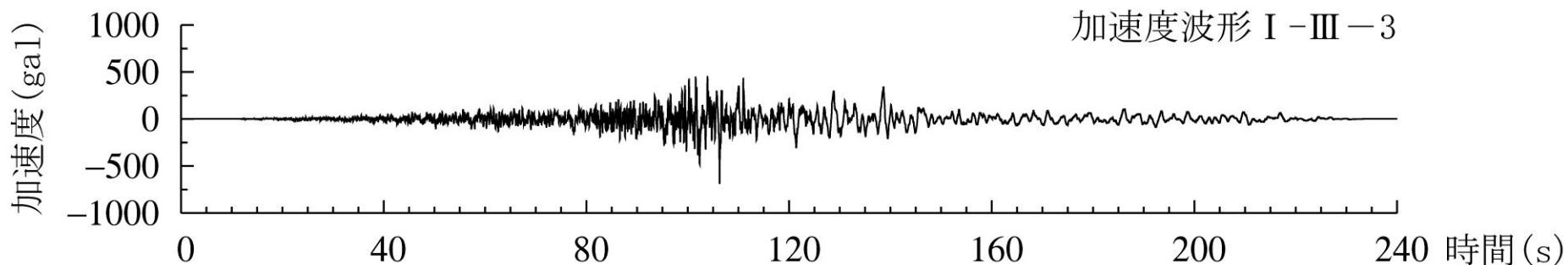
動的照査に用いる加速度波形（Ⅲ種地盤）



2003年十勝沖地震 大樹町生花観測点



2011年東北地方太平洋沖地震 山崎震動観測所



2011年東北地方太平洋沖地震 土浦出張所

道路橋示方書の改定に反映

○震源域のさらなる連動を考慮

→東海・東南海・南海地震が日向灘まで連動しM9巨大地震となる可能性等を考慮し、地域別補正係数と地域区分を改定

○長い継続時間を考慮

→動的解析に用いる入力地震動を最大240秒の波形に

同一地域内でも観測された地震動特性には大きな違いがあることから、さらに調査研究を進め、

- ・東北地方太平洋沖地震や内閣府検討中の南海トラフ巨大地震に関する最新の知見に基づくプレート境界型巨大地震による地震動予測の高精度化
- ・長大活断層地震（M8～）による地震動予測の高精度化を目指す。

M9地震を踏まえた液状化判定法の検証

観測事実をもとにFL法の妥当性を確認

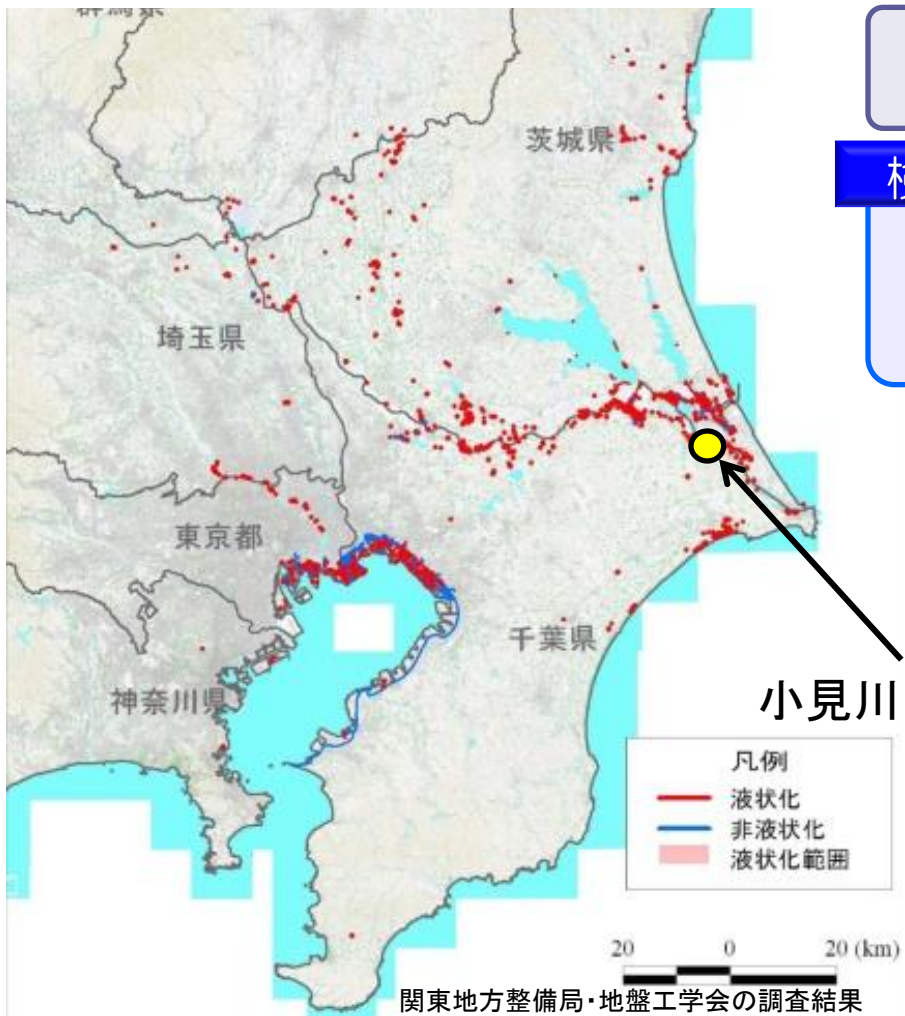
(国土交通省 液状化対策技術検討会議 H23.5~8)

- 観測事実と液状化判定結果の対比
- 継続時間の長い地震動特性の影響等

課題：長い継続時間や余震の連続が液状化を助長？

液状化の発生状況

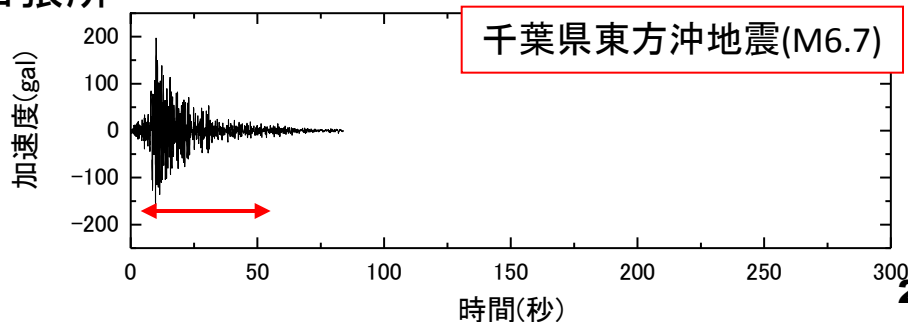
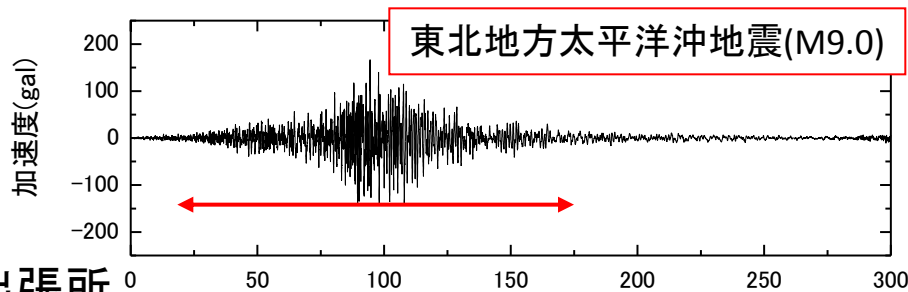
- 関東地方の極めて広い範囲（震源から遠い地域でも）で液状化現象が発生し、特に、東京湾岸部、利根川下流域で集中して発生。



液状化判定法の検証

検証目的

- 長い継続時間、強い余震
- 見逃しがあったのではないかと



関東地方整備局・地盤工学会の調査結果

現行の液状化判定法（FL法）

- 液状化の発生の予測や液状化対策を実施する上で最も基本となる技術。
- 一般に、液状化に対する抵抗率 **FL** を下の式により求め、この値が1.0以下のとき、すなわち、地震によって作用する力の大きさが土の液状化に対する強さを上回るとき、液状化するとみなす。

$$FL = R / L$$

FL : 液状化に対する抵抗率

R : 土の液状化に対する強さを表す

L : 地震によって作用する力の大きさを表す

- **FL法**は、道路橋、河川施設、下水道施設、建築、鉄道等の設計で用いられている（詳細は各設計基準類により若干異なる）。
- ここでは、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に示された方法に従って液状化判定を実施。土層構成、地下水位、標準貫入試験結果、細粒分含有率が分かれば、深度ごとのFL値を求めることができる。

1)液状化判定法の検証

検討内容

関東地方の194箇所での液状化判定
実際の液状化発生状況と比較

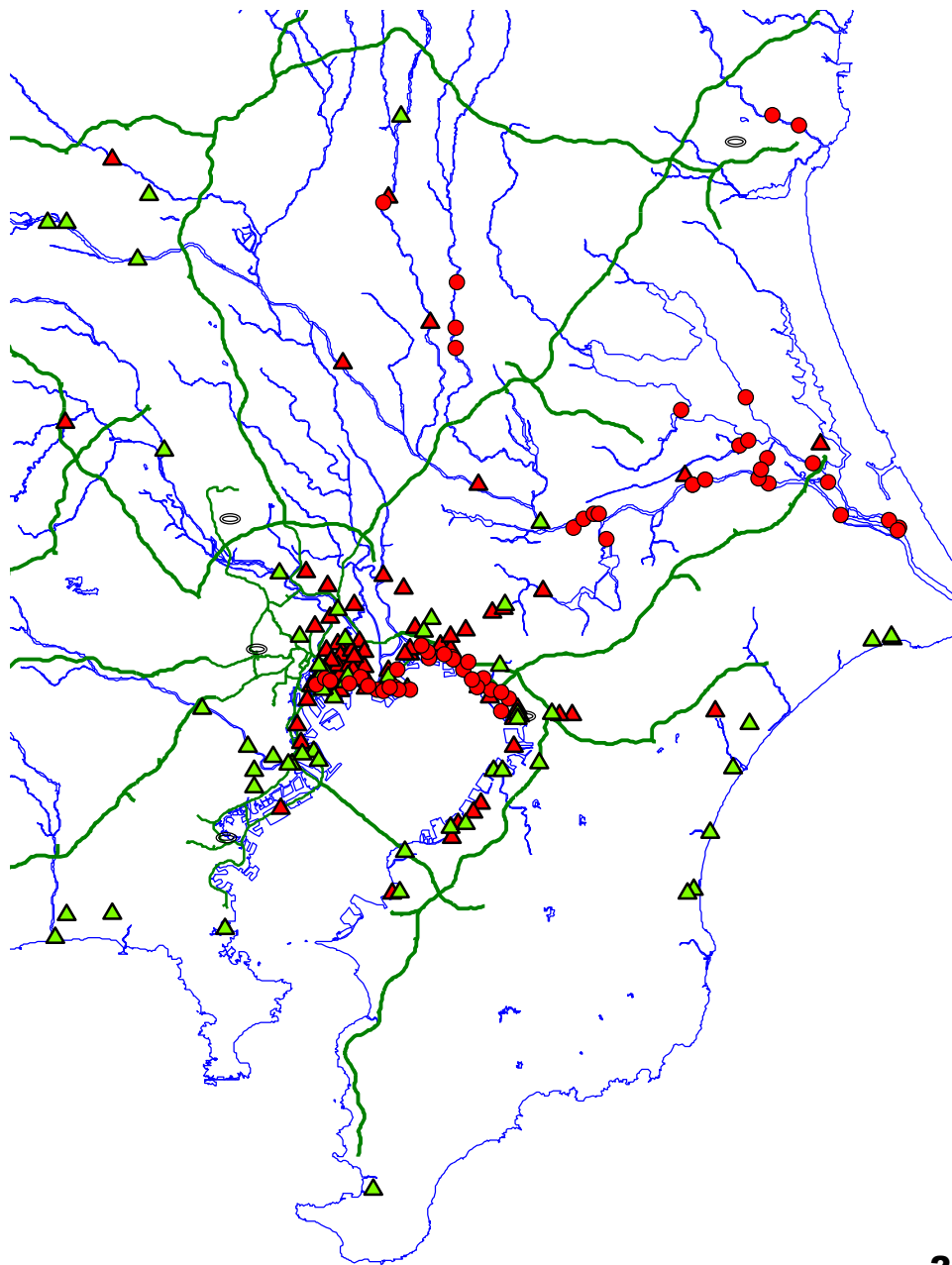
検討結果

| FL値 | 液状化あり | 液状化なし |
|-------------|---------|---------|
| $FL \leq 1$ | ●(62箇所) | △(76箇所) |
| $FL > 1$ | ●(0箇所) | △(61箇所) |

●液状化した箇所はすべて
「液状化する」と判定

△が多い。造成年代の影響等？

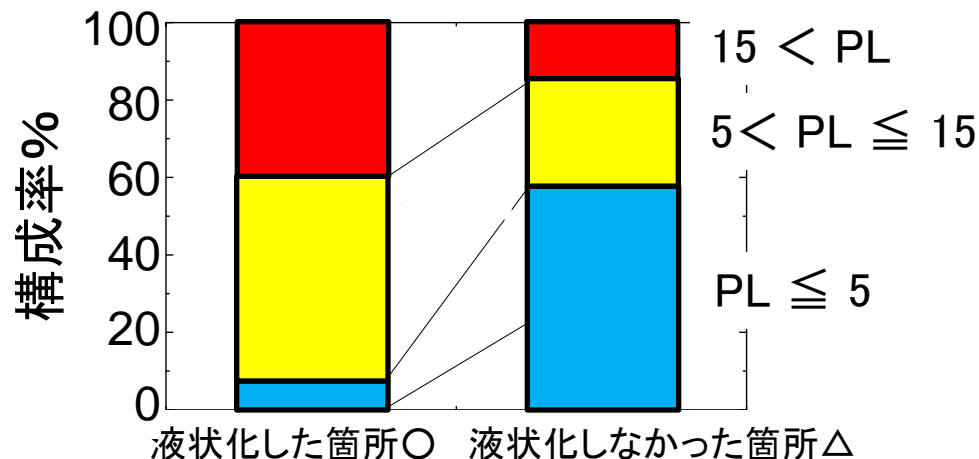
△比較的地盤の良い地域に分布



2) PL (液状化による影響を示す指標) の検討

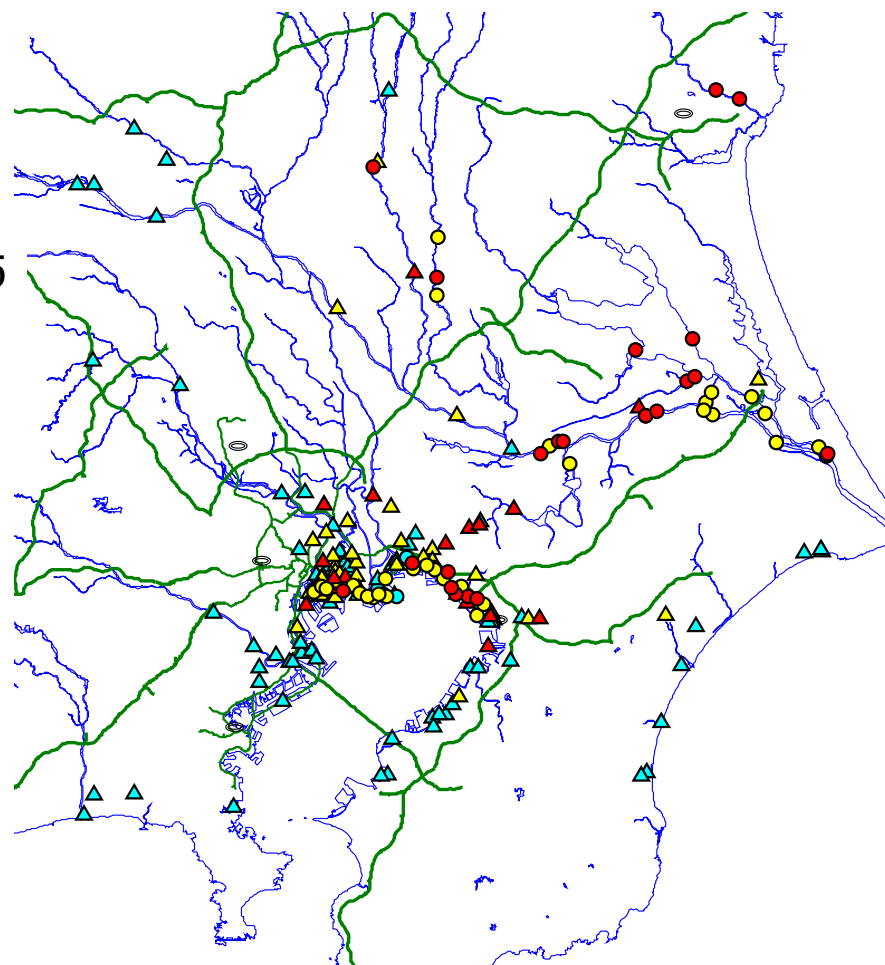
検討内容

○PL値と実際の液状化発生状況を比較



検討結果

- 液状化の有無とPL値は概ね整合。
- 液状化した個所で小さなPL値も。
細粒分の影響や地下水位の影響が考えられる。
- 液状化しなかった箇所で大きなPL値となる箇所も。
造成年代の影響が考えられる。



| PL値 | 液状化あり | 液状化なし |
|------------------|-------|-------|
| $15 < PL$ | ● | △ |
| $5 < PL \leq 15$ | ● | △ |
| $PL \leq 5$ | ● | △ |

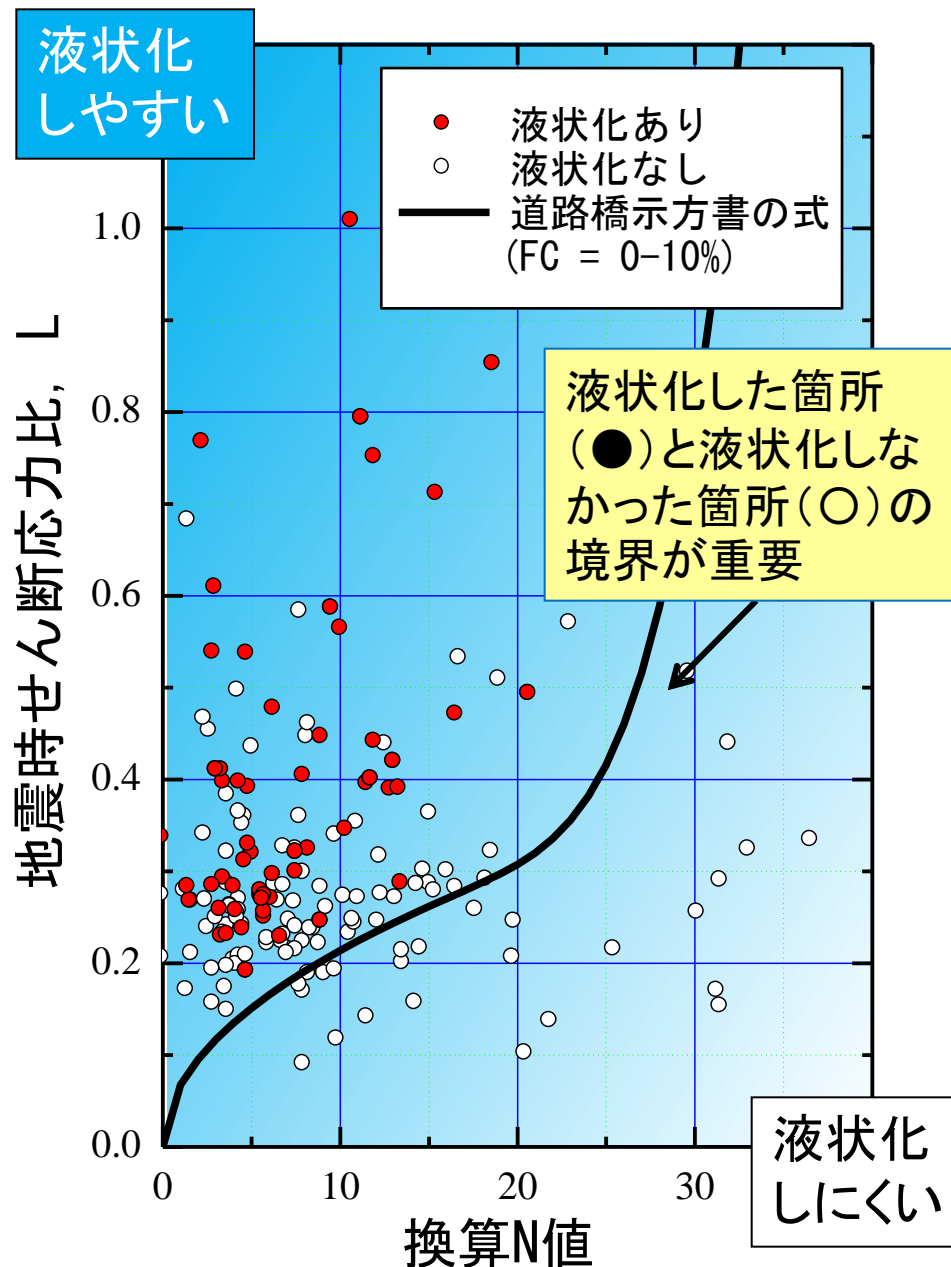
3)N値（地盤の強さ）と地震時せん断応力比の関係

調査内容

10m以浅の液状化判定対象深度の中から2番目に小さい換算N値となる深度を抽出し、換算N値とその深度の地震時せん断応力比の関係を整理

検討結果

- 液状化した箇所は全て黒い曲線より上。現行の液状化判定法と整合
- N値20以上で液状化したところはほとんどない。
- せん断応力比0.2以下で液状化したところはほとんどない。
- 合理化の余地は大きい。

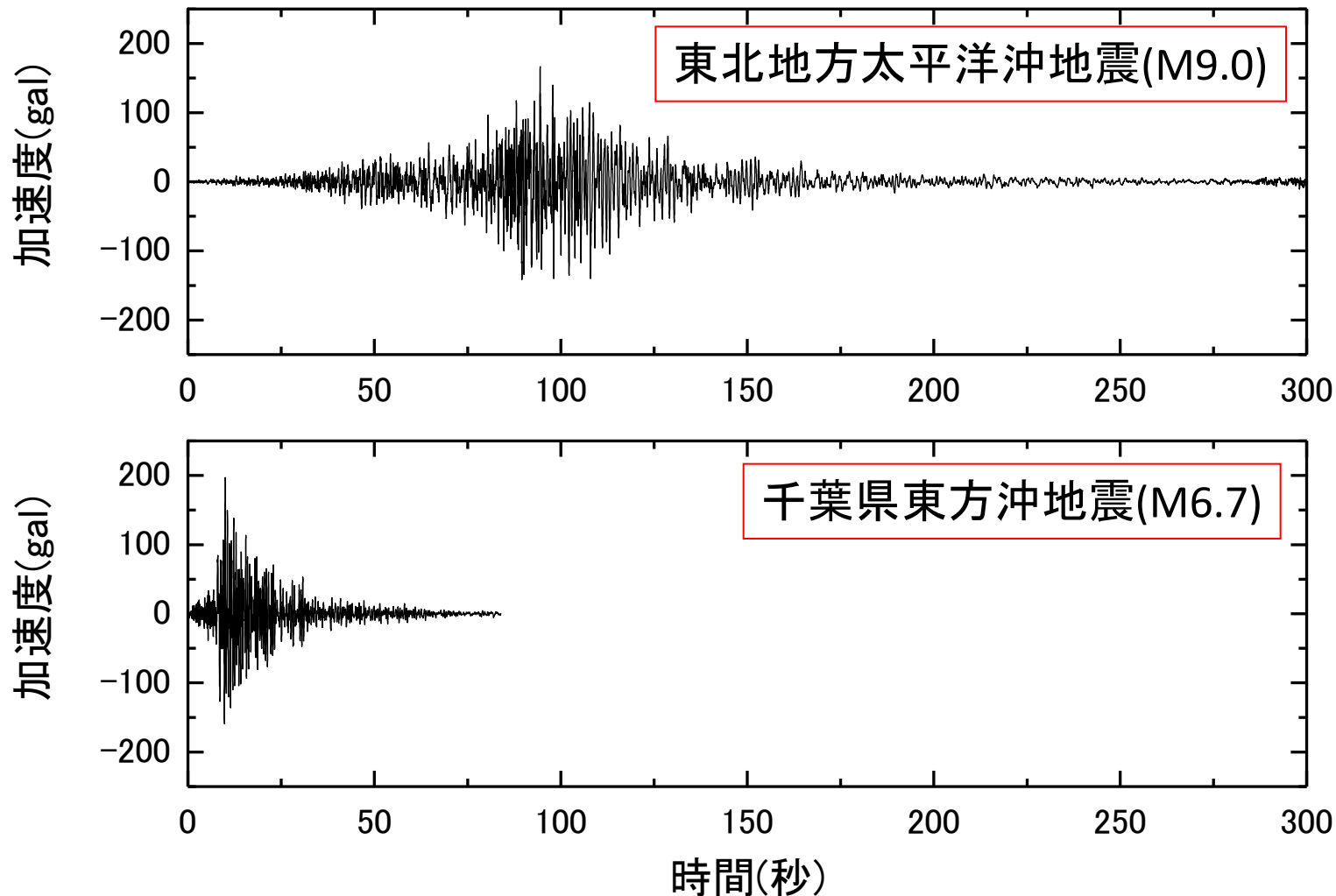


4)地震動継続時間の影響 (判定結果の比較)

検討内容

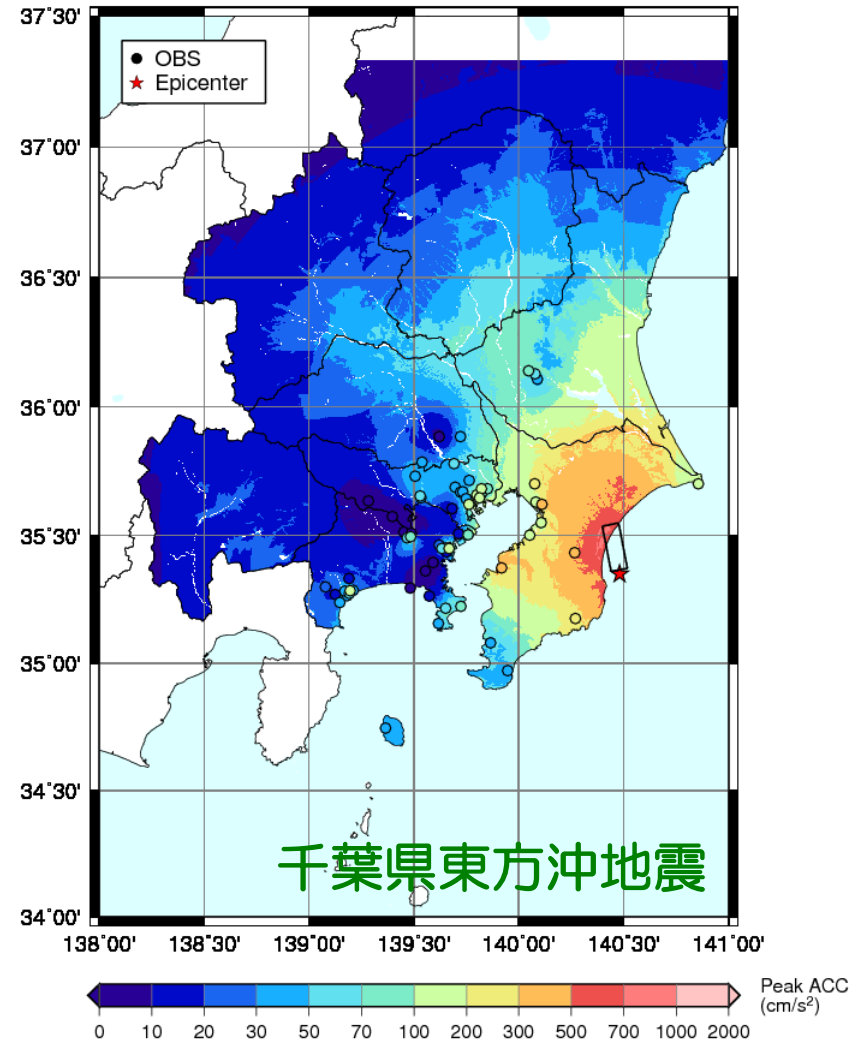
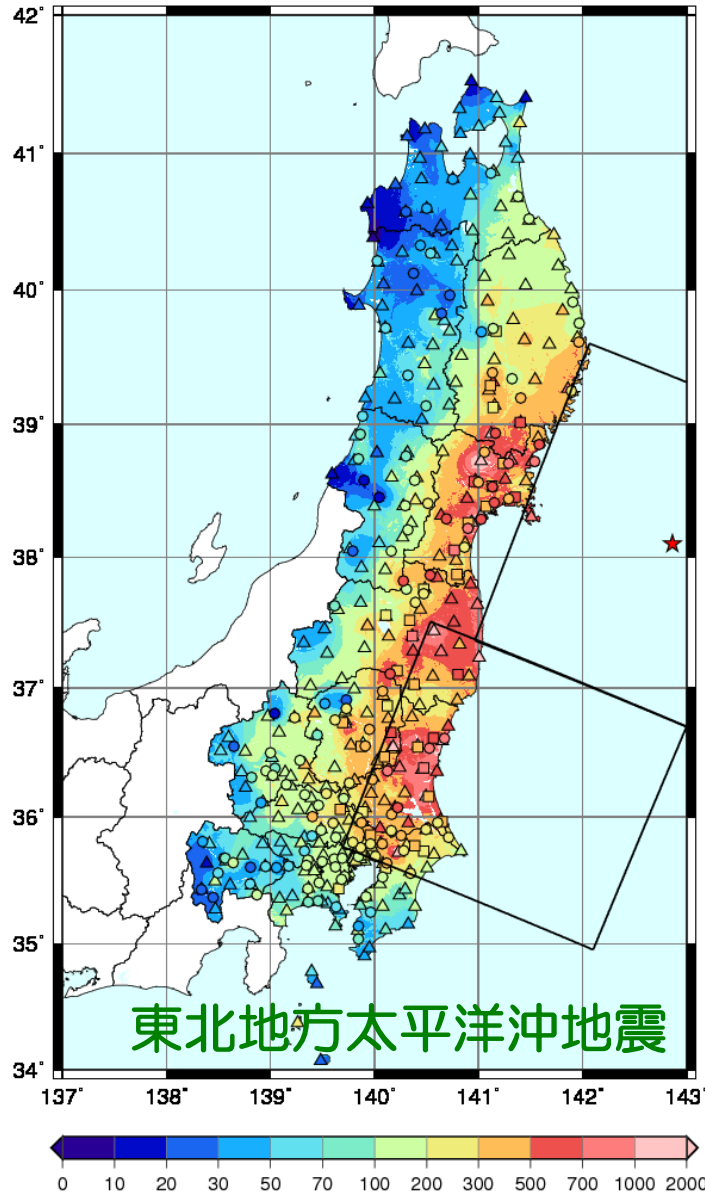
○今回の地震と千葉県東方沖地震の液状化に対する影響を比較

同一地点(小見川出張所)で観測された強震記録の比較

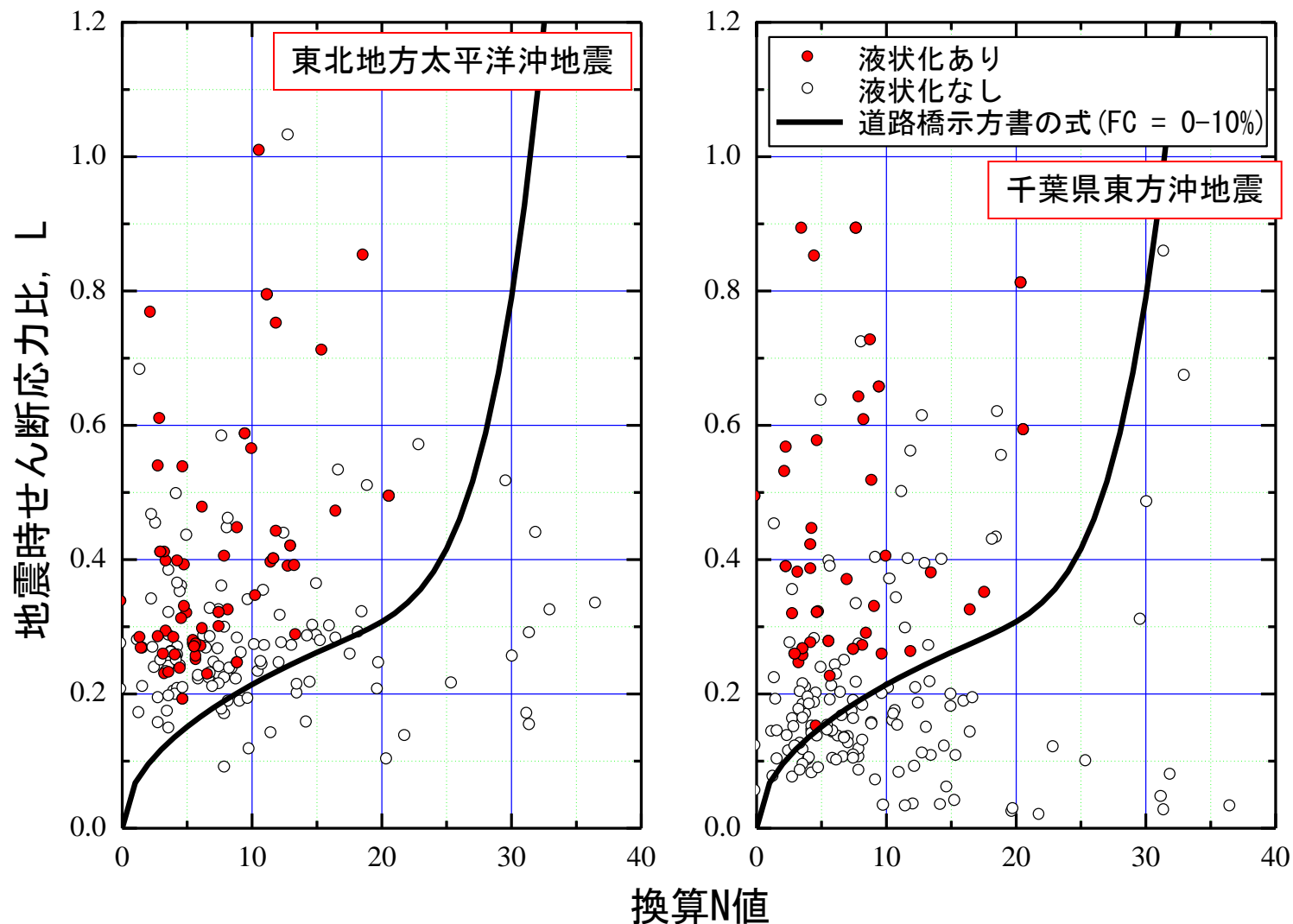


4)地震動継続時間の影響 (判定結果の比較)

地震時せん断応力比 L の計算に必要な最大加速度分布の推定



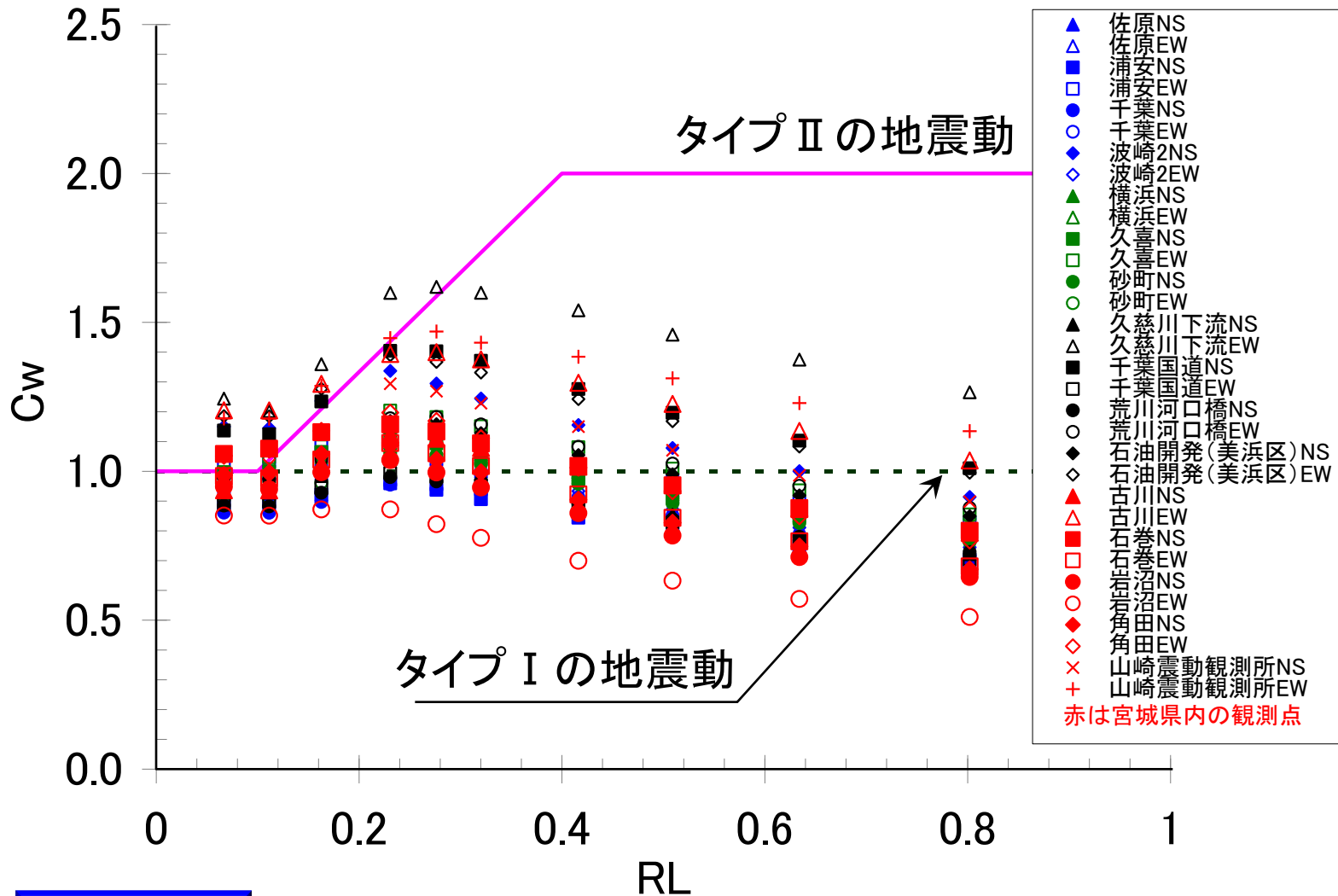
4)地震動継続時間の影響 (判定結果の比較)



検討結果

- 液状化した個所の分布に、千葉県東方沖地震との違いは確認できず。
- 液状化後の変形や液状化範囲には継続時間が大きく影響したと考えられる。

5)地震動継続時間の影響 (地震動特性を考慮する係数)



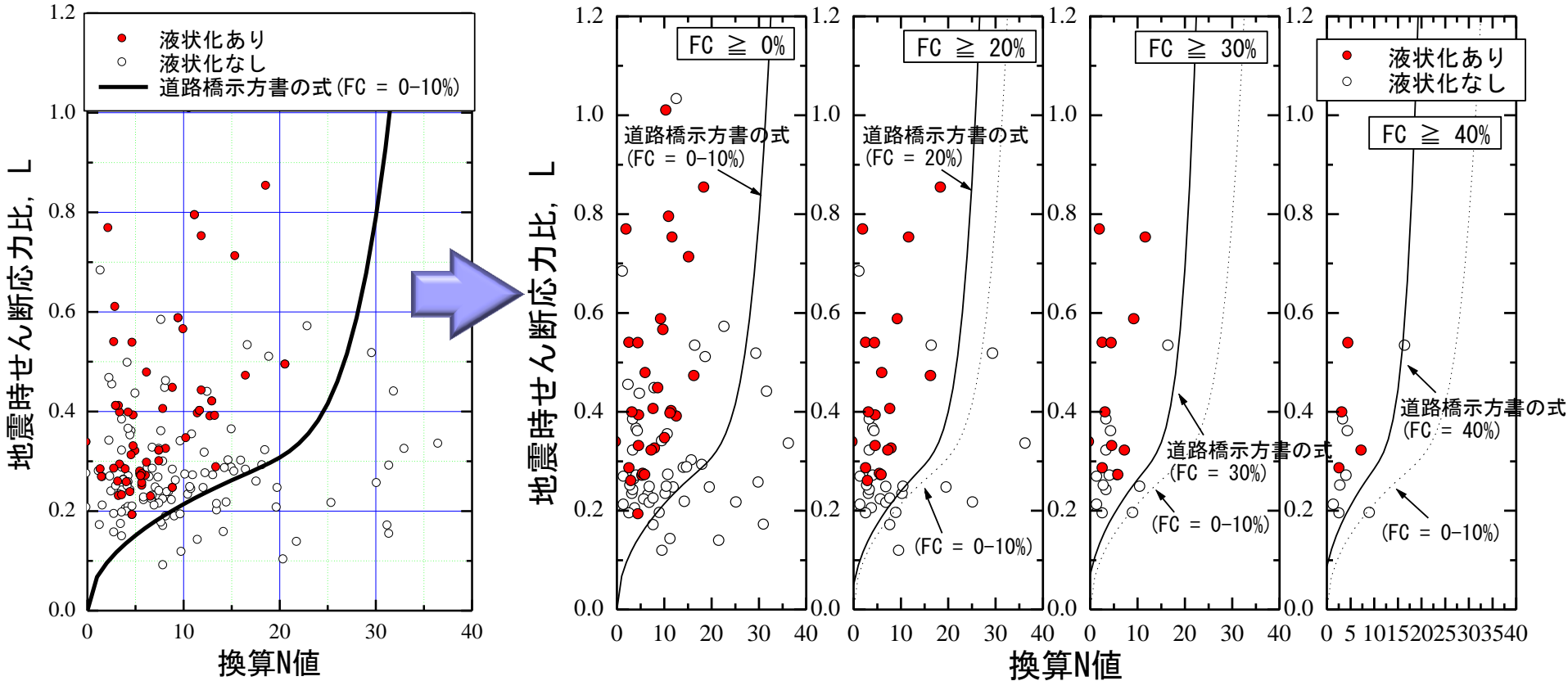
検討結果

- 波形によるばらつきが大きい。東北（2山）が関東（1山）より小さめ。
- 液状化しやすい地盤 (RL<0.4) に対しては概ね従来の係数と整合。

6) 細粒分の影響

検討内容

細粒分含有率別に換算N値 N_1 と地震時せん断応力比 L との関係を整理



検討結果

- 液状化した箇所の分布が細粒分含有率に応じて変化する傾向は、液状化強度推定式と調和的
- 細粒分の性質や量が液状化に及ぼす影響について詳細に分析が必要

FL法の妥当性を検証

- 液状化した箇所で、「液状化しない」と判定される「見逃し」はなかった。
 - 液状化の有無とPLの値は概ね整合。
 - 今回の地震と過去の短い地震と比較した結果、せん断応力比とN値の關係に差は認められなかった。いずれにせよ「見逃し」が生じるものではなかった。
 - 細粒分含有率について現行の液状化判定法と調和的である。
 - 造成年代の新しい地盤が、古い地盤より液状化しやすい傾向あり。
 - 液状化しなかった箇所で「液状化する」と判定される「空振り」が多く見られた。
- 以上のようなことから、現行FL法は直ちに見直す必要性は低い。
一方、液状化しなかった箇所で「液状化する」と判定される「空振り」が相当数みられたことから更なる研究を進め、液状化判定法等の高精度化を目指す。

液状化判定法に関する検討は、国土交通省「液状化対策技術検討会議」に資することを目的に、土研・国総研が実施した結果をまとめたものである。

http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000154.html