

漁港地盤の液状化判定法の 簡素化に関する調査

独立行政法人水産総合研究センター

水産工学研究所 水産土木工学部 漁港施設研究室

坪田幸雄・佐伯公康

1. 緒言

漁港事業においては、耐震強化岸壁や防災拠点漁港の諸施設を中心として、液状化に対する検討を行っている。しかし、現行の液状化の予測・判定手順は、**図1**に示すように、(i)粒度による判定、(ii)等価N値と等価加速度を用いる方法、(iii)振動三軸試験を用いる方法、の3段階になっている¹⁾。そのため、等価加速度を求めるための地盤の地震応答計算や振動三軸試験等に多大な費用がかかる場合が多い。そこで、漁港の地盤に適用できる簡易で、比較的費用のかからない液状化判定方法を提案する。

2. 調査方法

漁港関係施設において、地震記録のある最近の地震で液状化被害のあった個所の地盤情報、および応答解析を用いて液状化判定が実施された資料等を収集する。

収集した資料をもとに、次の項目について検討する。

2. 1. 等価N値と等価加速度の関係の見直し

液状化の判定は、等価N値および等価加速度から、**図2**に示す関係図のどの範囲に位置するかを調べ、**表1**により判定する¹⁾。**表1**によると、範囲Ⅱ、Ⅲに位置する場合には、必要に応じて振動三軸試験を実施することになる。

そこで、過去の漁港関係施設の被災事例調査から、各土層について「液状化すると判定」、「液状化しないと判定」されるもののデータを、現行の液状化予測のための等価N値と等価加速度の関係図(**図2**)にプロットし、当該関係図の見直しについて検討する。

2. 2. 液状化強度と粘土分含有率の関係の検討

現行の液状化判定法では、液状化の検討を行うかどうかの判断は、細粒分(粘土分およびシルト分)含有率や塑性指数には依存しない。しかし、道路橋示方書、建築基礎構造設計指針等では、細粒分含有率や塑性指数により、液状化の検討を行うかどうかの判断をしている。

そこで、液状化の発生と粘土分含有率との関係について検討するとともに、粘土分含有率と塑性指数の関係を整理し、粘土分含有率から塑性指数が推定できないか検討する。

2. 3. 地表最大加速度の簡易推定式の検討

通常、液状化予測のための等価加速度は、表層地盤の地震応答解析から得られる地中の最大せん断応力から求められる。ただし、入力地震波形が八戸波および大船渡波の場合、基盤最大加速度200、250galの地域に限り、地表最大加速度の簡易推定式を用いることにより、地震応答解析を行わずに地表最大加速度を求めることができる。しかし、それ以外の基盤最大加速度(100、150、350gal)の地域およびポートアイランド波の場合、簡易推定式がないため、地震応答解析を行う必要がある。

そこで、簡易推定式がない場合を対象に、地表最大加速度と固有振動数の関係、せん断応力の深さ方向の低減率について検討する。

2. 4. 簡易式から推定した最大せん断応力と地震応答解析から求まる最大せん断応力の比較検証

上記2. 3. で検討した簡易式から推定した地中せん断応力と、地震応答解析から求まる最大せん断応力を比較し、簡易式の妥当性を検証する。

2. 5. 簡易式を用いた液状化判定結果と従来法との比較検証

今回提案した簡易式を用いた液状化判定手法に基づく判定結果と従来法による液状化判定結果を比較することにより、提案手法の妥当性を検証する。

2. 6. 簡易な液状化判定法のとりまとめ

今回提案する簡易な液状化判定法をもとに、「漁港・漁場の施設の設計の手引」の関係箇所について、具体的改定案を作成する。

2. 7. 性能設計の導入に向けた液状化判定のためのパラメーターの整理

今後の設計手法として、性能設計の導入は必然の流れである。その場合、液状化判定を実施する上でも、必要となるパラメータをN値あるいは粒度から間接的に求めることが多くなってくる。そのため、漁港関連地盤でこれらのパラメーターが、どの程度のバラツキを有しているかを調べておく必要がある。

そこで、その基礎資料として、昨年度に収集した資料の中から、液状化判定に関連するパラメーターの整理を行う。

3. 調査結果

3. 1. 等価N値と等価加速度の関係の見直し

図3に、過去の漁港関係施設の被災事例調査から、実際に液状化が発生した漁港を対象に、土層ごとに「液状化したと判定」、「液状化しないと判定」されるもののデータを、現行の液状化予測のための等価N値と等価加速度の関係図にプロットしたものを示す。このうち、振動三軸法の判定は、等価N値によるもののうち、三軸振動試験を実施してより詳細に検討したものであり、液状化の判定結果が等価N値による判定結果と異なることもある。より信頼性が高いと考えられる振動三軸法の判定による結果から、範囲Ⅰ～Ⅳにおける液状化の発生の有無の割合は表2のようになり、図2と表1による液状化の判定が妥当なものであると考えられる。なお、範囲Ⅳのうち破線で示した範囲では、データは少ないものの「液状化したと判定×」が2件、「液状化しないと判定○」が2件と拮抗しており、「液状化しない可能性が大きい」と予測する範囲Ⅲに含めることも考えられる。

3. 2. 液状化強度と粘土分含有率の関係の検討

道路橋示方書・同解説、建築基礎構造設計指針、鉄道構造物等設計標準・同解説における液状化判定の条件としては、細粒分含有率 F_c が35%以上かつ塑性指数 I_P が15以上であれば「液状化の検討をしない」と判断している。しかし、漁港関係の現行の基準では、手順の最初に粒径加積曲線をもとに「粒度による判定」を行っており、ここで「液状化の

可能性あり」と判断されると、細粒分含有率 F_c が35%以上かつ塑性指数 I_P が15以上の土層でも液状化の検討を行う必要がある。そこで、細粒分含有率 F_c が35%以上かつ塑性指数 I_P が20以上（安全側に考えて）の土層では、「液状化の検討をしない」と判断することも、一つの考え方としてはあり得ると思われる。

一方、粘土分含有率 C_c から塑性指数 I_P が推定できないか検討するため、粘土分含有率と塑性指数の関係を **図4** に示す。両者の関係は、ほぼ直線で近似できるものと考えられ、図中の細線は、原点を通る回帰直線である。そこで、 $I_P = C_c$ とみなすと、前述の「液状化の検討をしない」と判断する土層としては、細粒分含有率 F_c が35%以上かつ粘土分含有率 C_c が20以上とすることも考えられる。なお、図中の太線より原点側の範囲は、この考え方に基づいて「液状化の検討を行う範囲」であり、破線より原点側の範囲は、道路橋示方書による「液状化の検討を行う範囲」の条件の一つである。ただし、今回収集した資料では、液性限界・塑性限界試験を実施して、塑性指数を調べているデータが少なく、かつ粘土分含有率が20%以下のデータが少ないことに留意する必要がある。

3. 3. 地表最大加速度の簡易推定式の検討

収集した資料をもとに、一次元地震応答解析（SHAKE）により、地表最大加速度を求めた。入力地震波形は、八戸波、大船渡波、ポートアイランド波の3波形とし、基盤最大加速度は100、150、200、250、350galである。また、これとは別に、地盤の固有振動数も現行の基準の式から求めた。

図5～7に、地盤の固有振動数と地表最大加速度の関係を示す。地表最大加速度は、地盤の固有振動数が入力波形の卓越周波数に近づくに伴い、大きくなる傾向にある。これは、両者の共振点が近づくためと考えられる。また、固有振動数が共振点より大きくなると地表最大加速度も減少し、最終的には一定値に近づく傾向にある。

また、八戸波、大船渡波の基盤最大加速度200、250galの場合、現行の地表最大加速度の簡易推定式¹⁾（井合・松永の式）を図示した。それ以外の場合、双曲線による推定線、および双曲線に基づく現行の簡易推定式と同様な形状の推定線を図示した。なお、双曲線は、次の形状を仮定した。

$$\alpha_{smax} = B (1 - e^{-c \cdot f})$$

ここに、 α_{smax} ：地表最大加速度

f ：地盤の固有振動数

B ：係数（ f が5Hz以上のデータの平均値）

c ：係数（ $c=0.25, 0.50, 1.0, 2.0, 3.0$ について検討した）

係数 c の決定は、この式と解析値との残差の二乗が最小となるような c を用い、この係数の傾向を考慮して最終的に決定した。

以上のことをまとめると、地表最大加速度の簡易推定式は、八戸波、大船渡波の基盤最大加速度100、150、350galおよびポートアイランド波の基盤最大加速度100、150、200、250、350galについて、**表3**のとおりになる。なお、表中、八戸波、大船渡波の基盤最大加速度200、250galについては、現行のままにしている。

次に、せん断応力の深さ方向の低減率について整理・検討したが、個々のデータのばらつきが比較的大きくなる傾向が見られた。そこで、次のような方針に基づき再整理した。

- ・最大せん断応力比の算定に全上載圧を利用する。
- ・低減係数の算出に際しては、その深度にかかわらず、最大せん断応力比の深度分布の最大値をもとに算出する。

図8に、再整理したせん断応力の低減率と深さ（25m以下）の関係を示す。両者の関係は、昨年度と同様にほぼ直線で近似できるものと考えられる。図中の直線は、地表で低減率が1.0となる回帰直線である。また、図9には、基盤最大加速度と各加速度毎の回帰直線 $r_d(z) = 1.0 - a \cdot z$ の係数（傾き） a の関係を示す。

これによると、八戸波、大船渡波の場合、係数 a は基盤最大加速度に関わらず概ね一定で、今回の回帰直線の傾きは、現行基準に示されている傾きとほぼ同じである。一方、ポートアイランド波の場合、一部データで低減係数が0.5程度と幾分低めに分布したため、このデータを含めたケース（その1）と含めないケース（その2）の両者を検討した。その結果、両者とも係数 a は基盤入力加速度に関わらず概ね一定で、八戸波、大船渡波の場合と同様の傾向を示した。

3. 4. 簡易式から推定した最大せん断応力と地震応答解析から求まる最大せん断応力の比較検証

ここでは、簡易式の地表最大加速度は、上記3. で検討した推定式（表3）を用いる。一方、地震応答解析は、一次元地震応答解析SHAKEを用いる。

また、簡易式のせん断応力の低減率として、八戸波、大船渡波の場合は現行基準、ポートアイランド波の場合は、上記3. で検討した結果を用いる。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{八戸波} & : r_d(z) = 1.0 - 0.019z \quad (z \leq 25\text{m}) \quad (\text{現行と同じ}) \\ \text{大船渡波} & : r_d(z) = 1.0 - 0.026z \quad (z \leq 25\text{m}) \quad (\text{現行と同じ}) \\ \text{ポートアイランド波-その1} & : r_d(z) = 1.0 - 0.025z \quad (z \leq 25\text{m}) \\ \text{ポートアイランド波-その2} & : r_d(z) = 1.0 - 0.018z \quad (z \leq 25\text{m}) \end{aligned}$$

現行基準の八戸波、大船渡波においては、深さに z おける最大せん断応力の推定値 $\tau_{est}(z)$ と地震応答解析より得られた最大せん断応力 $\tau(z)$ との相対的なバラツキを評価するために、

$$E = \{ \tau_{est}(z) - \tau(z) \} / \tau_{est}(z)$$

を設定し、そのヒストグラムより E の分布が $E=0$ を中心とした正規分布と見なすことができることから、 E の全データの90%が含まれる範囲である E の平均値（ $E=0$ とする） $\pm 1.65\sigma$ （ σ は E の標準偏差）を求め、 $1.65\sigma \equiv 0.35$ とみなして、最大せん断応力の上限值および下限値を次のように設定している²⁾。

$$\text{上限値} : \tau_{max}(z) = 1.35 \cdot \tau_{est}(z)$$

$$\text{下限値} : \tau_{min}(z) = 0.65 \cdot \tau_{est}(z)$$

そこで、今回得られたデータについても同様の整理をした。図10に、簡易式から推定した最大せん断応力 $\tau_{est}(z)$ と地震応答解析から求まる最大せん断応力 $\tau(z)$ の関係を示す。なお、図中の破線は前述の上限値、下限値に相当する直線である。また、図11に、 E のヒストグラムを示す。

これによると、八戸波の場合は、ほぼ平均値=0の正規分布と見なすことができる。また、大船渡波、ポートアイランド波-その1の場合も、平均値が若干大きいものの、ほぼ平均値=0の正規分布と見なすことができる。しかし、ポートアイランド波-その2の場合は、平均値も0より相当大きく、かつ正規分布と見なすには無理があると考えられる。

一方、最大せん断応力の上限值と下限値の範囲に含まれるデータは、八戸波で約96%、大船渡波で約90%になるものの、ポートアイランド波-その1、その2では約85%と若干少なめになる。

これらのことから、ポートアイランド波に関するせん断応力の深さ方向の低減率として

は、ポートアイランド波—その1の方が適している。

3. 5. 簡易式を用いた液状化判定結果と従来法との比較検証

上述4. で比較検証した、簡易式から推定した最大せん断応力と地震応答解析から求まる最大せん断応力において、液状化判定結果にどの程度の差異が生じるかを確認するための比較検証を行った。

図12~14に、八戸波、大船渡波、ポートアイランド波—その1における、推定値と解析値による液状化判定のための等価N値と等価加速度の関係を示す。これによると、等価加速度は、各波形ともに推定値と解析値は概ね良好な対応を示していると考えられる。ただし、部分的には、最大加速度が小さい場合に推定値が解析値をやや下回り、逆に最大加速度が大きい場合に推定値が解析値をやや上回る傾向が見られる。

表4~6及び表7~9に、最大せん断応力の推定値と解析値による液状化判定結果（図12~14による）の比較を示す。なお、粒度とN値による土層ごとの液状化の予測・判定は、範囲Ⅱの場合、「液状化すると判定するか、振動三軸試験により判定する」、範囲Ⅲの場合、「液状化しないと判定するか、振動三軸試験により判定する」というように、各々2通りの解釈があるため、「範囲Ⅱは液状化すると判定し、範囲Ⅲは液状化しないと判定する」場合（表4~6、以下、ケースA）と、「範囲Ⅱ、Ⅲは振動三軸試験により判定する」場合（表7~9、以下、ケースB）の2通りで比較した。表中、解析値と推定値で範囲に変化があるもののうち、推定値が解析値よりも危険側（例えば、液状化する→液状化しないに変化）に判定されるものを赤表示、推定値が解析値よりも安全側（例えば、液状化しない→液状化するに変化）に判定されるものを青表示、範囲に変化があるものの判定結果が変化しないものを黄表示で表している。

これによると、等価N値と等価加速度の関係図に基づく液状化判定の範囲Ⅰ~Ⅳは、最大加速度が大きい場合に推定値が解析値よりも安全側に判定され、逆に最大加速度が小さい場合に推定値が解析値よりも危険側に判定される傾向が見られるものの、全体的には各波形とも推定値と解析値で概ね同じ判定になる傾向にあると考えられる。なお、ケースAは、ケースBに比べて推定値が解析値よりも危険側に判定される傾向が見られる。

3. 6. 簡易な液状化判定法のとらまとめ

以上のことをまとめると、今回の簡易な液状化判定法を用いることによる、現行の「漁港・漁場の施設の設計の手引」の関係箇所改定案を、次のように提案する。

①適用する施設

現在、液状化に対する検討を必ず行うものとしている、「耐震強化岸壁」、「防災拠点漁港の諸施設」、「それらに準ずる重要度の高い構造物」以外の施設について、必要に応じて液状化に対する検討を行う場合を対象とする。

②地表最大加速度の推定式

地表最大加速度は、表3の推定式を用いて地盤の最大振動数 f より計算する。

③最大せん断応力の算定に用いるせん断応力の深さ方向低減率

ポートアイランド波のせん断応力の深さ方向低減率として、

$$\text{ポートアイランド波} : r_d(z) = 1.0 - 0.025z \quad (z \leq 25\text{m})$$

を追加する。

3. 7. 性能設計の導入に向けた液状化判定のためのパラメーターの整理

今回収集した資料に記載されている地盤情報に基づき、 N 値とせん断波速度 V_s の関係、 N 値および粒度分布と液状化強度 R_{max} の関係について検討した。

図15に、 N 値とせん断波速度 V_s の関係を示す。これによると、今回収集したデータと既往の近似式（図中の実線）を比較すると、比較的よい対応を示している。

図16に、 N 値および粒度分布と液状化強度 R_{max} の関係を示す。これによると、液状化強度 R_{max} との相関はあまり良くないものの、 N 値および等価 N 値に対し、細粒分含有率 F_c による補正係数 β を考慮した等価 N 値/ β では、比較的良くなる傾向にある。

4. 考察

漁港関係施設において、地震記録のある最近の地震で液状化被害のあった個所の地盤情報、および応答解析を用いて液状化判定が実施された資料等をもとに、現行基準に地表最大加速度の簡易推定式の記述がない場合を対象に、地表最大加速度と固有振動数の関係、せん断応力の深さ方向の低減率を中心に検討するとともに、簡易式から推定した最大せん断応力と地震応答解析から求まる最大せん断応力の比較検証、簡易式を用いた液状化判定結果と従来法との比較検証を行うことにより、簡易な液状化判定法としてとりまとめ、現行の「漁港・漁場の施設の設計の手引」の関係箇所の改定案として、次のように提案した。

①適用する施設

現在、液状化に対する検討を必ず行うものとしている、「耐震強化岸壁」、「防災拠点漁港の諸施設」、「それらに準ずる重要度の高い構造物」以外の施設について、必要に応じて液状化に対する検討を行う場合を対象とする。

②地表最大加速度の推定式

地表最大加速度は、表3の推定式を用いて地盤の最大振動数 f より計算する。

③最大せん断応力の算定に用いるせん断応力の深さ方向低減率

ポートアイランド波のせん断応力の深さ方向低減率として、

$$\text{ポートアイランド波} : r_d(z) = 1.0 - 0.025z \quad (z \leq 25\text{m})$$

を追加する。

摘要

今後、その発生が危惧されている東海地震、東南海/南海地震などへの対応として、耐震強化岸壁や防災拠点漁港の諸施設以外の施設に対しても液状化対策を実施する必要があると考えられるが、今回提案した簡易な液状化判定法を用いることにより、土層ごとの液状化の判定を行う際に、地震応答解析を行わないことから、比較的費用のかからない液状化の簡易判定を行うことが可能になる。

なお、表1に示すように、粒度と N 値による土層ごとの液状化の予測・判定は、範囲Ⅱの場合、「液状化すると判定するか、振動三軸試験により判定する」、範囲Ⅲの場合、「液状化しないと判定するか、振動三軸試験により判定する」というように、各々2通りの解釈があるが、その判定は設計者の判断によることになる。しかし、振動三軸試験は高度な技術を要する試験であり、かつ、多額の費用も必要である。そのため、機械的に「範囲Ⅱは液状化すると判定し、範囲Ⅲは液状化しないと判定する」のも一つの便法である。ただし、調査結果5.でも記述したように、「範囲Ⅱは液状化すると判定し、範囲Ⅲは液状化

しないと判定する」場合は、「範囲Ⅱ、Ⅲは振動三軸試験により判定する」場合に比べて推定値が解析値よりも危険側に判定される傾向が見られることから、慎重に判断する必要がある。

参考文献

- 1) 水産庁監修、2003年：漁港・漁場の施設の設計の手引、(社)全国漁港漁場協会、pp122-145
- 2) 井合進・松永康男、1990年：液状化予測におけるせん断応力比の簡易算定法の検討、第5825回土質工学研究発表会講演集、pp. 773-776

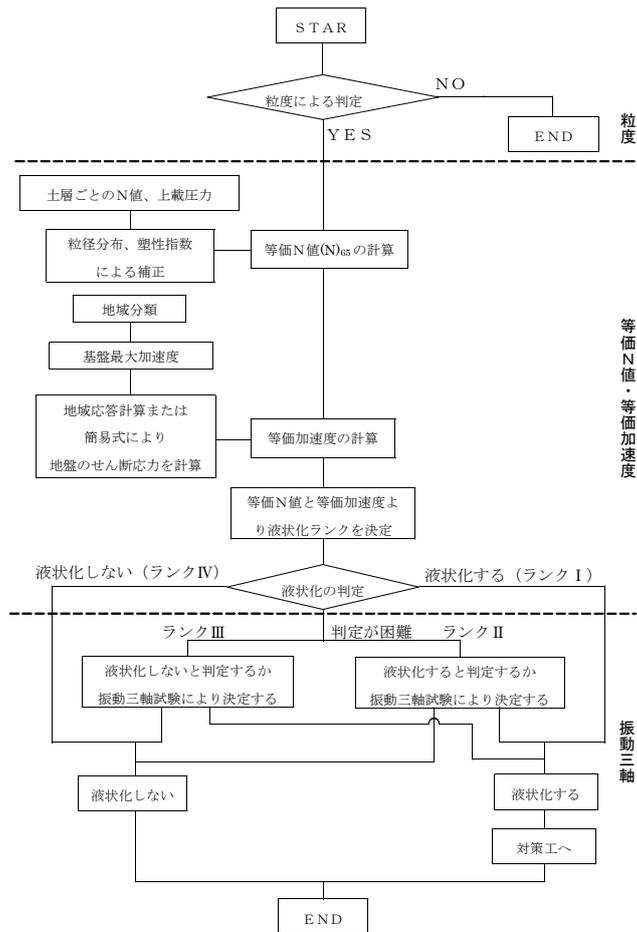


図1 漁港構造物の液状化予測・判定フローチャート

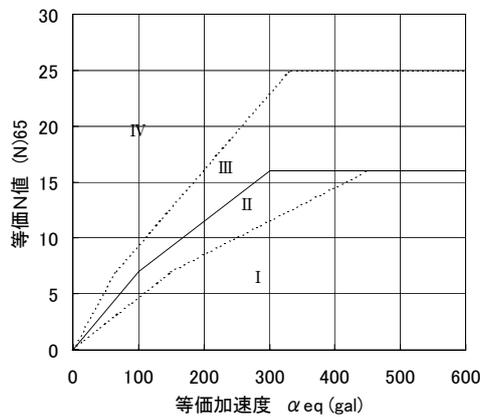


図2 液状化予測のための等価N値と等価加速度の関係

表1 粒度とN値による土層ごとの液状化の予測・判定

範囲	液状化の予測	液状化の判定
I	液状化する。	液状化すると判定する。
II	液状化する可能性が大きい。	液状化すると判定するか、振動三軸試験により判定する。
III	液状化しない可能性が大きい。	液状化しないと判定するか、振動三軸試験により判定する。
IV	液状化しない。	液状化しないと判定する。

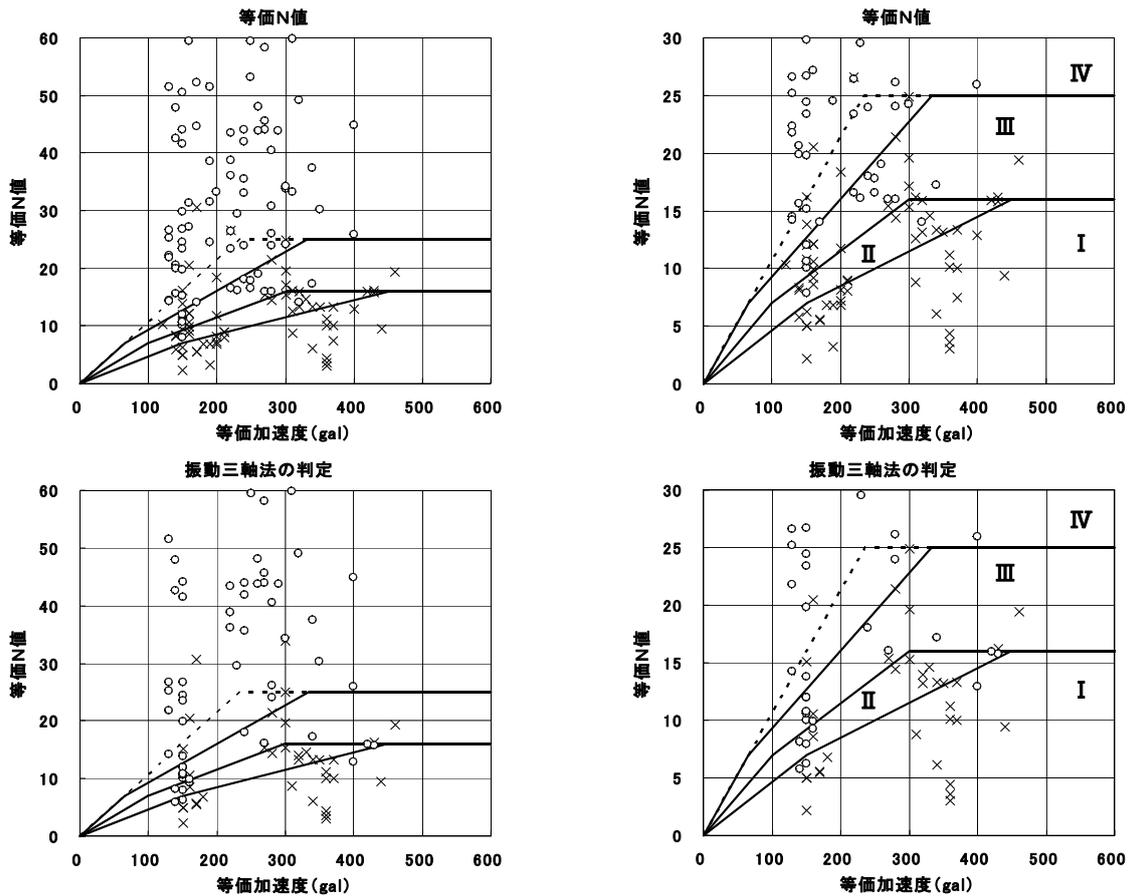


図3 等価N値と等価加速度の関係（右：等価N値60以下、左：等価N値30以下）
 (×：液状化したと判定、○液状化しないと判定)

表2 振動三軸法の判定による範囲Ⅰ～Ⅳにおける液状化の発生の有無の割合

範囲	液状化の予測	液状化する×	液状化しない○
I	液状化する。	84.2%	15.8%
II	液状化する可能性が大きい。	61.5%	38.5%
III	液状化しない可能性が大きい。	40.0%	60.0%
IV	液状化しない。	9.1%	90.9%

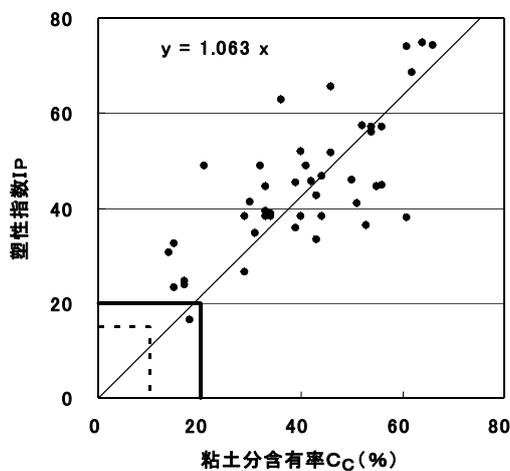


図4 粘土分含有量と塑性指数の関係

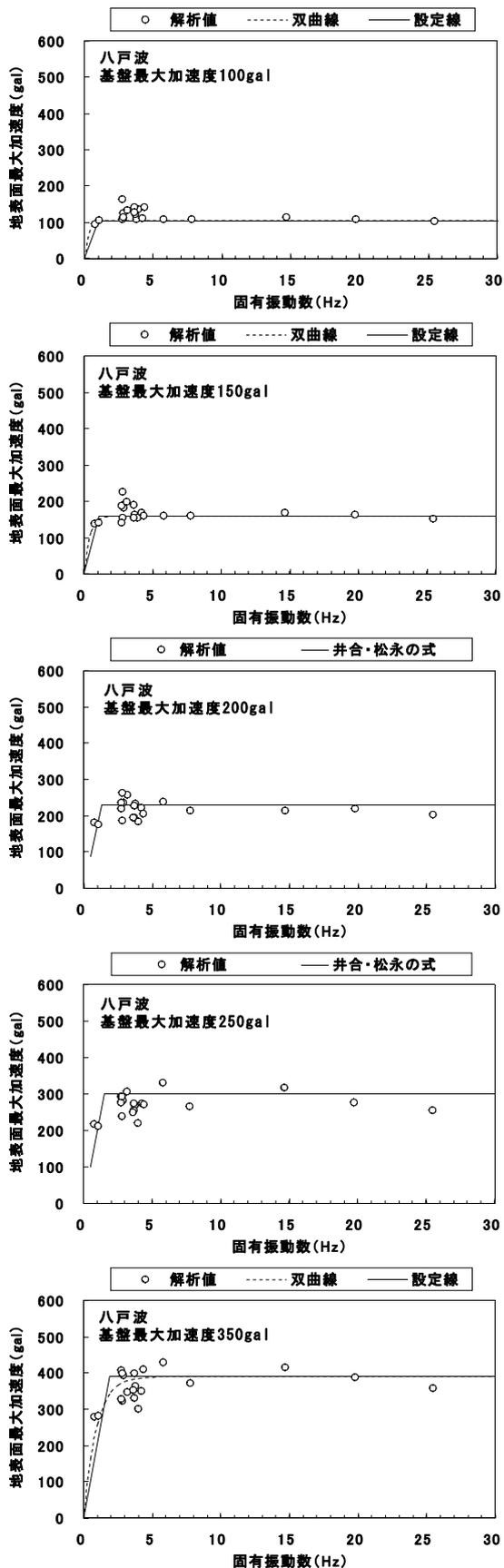


図5 固有振動数と地表最大加速度の関係 (八戸波)

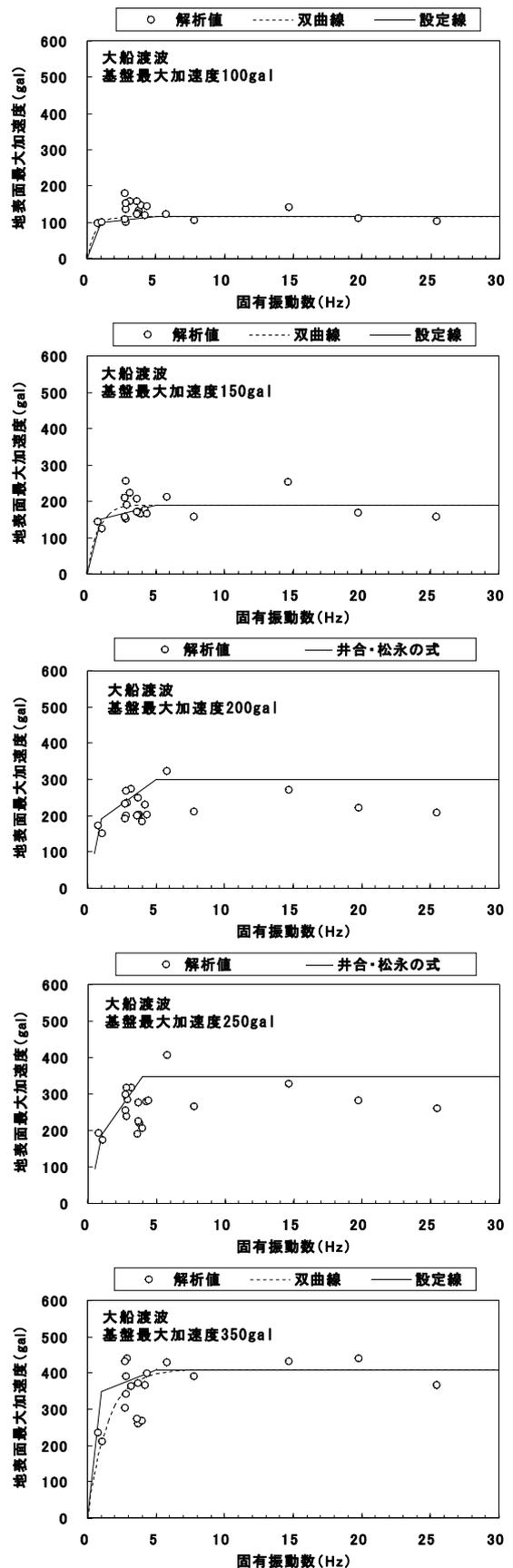


図6 固有振動数と地表最大加速度の関係 (大船渡波)

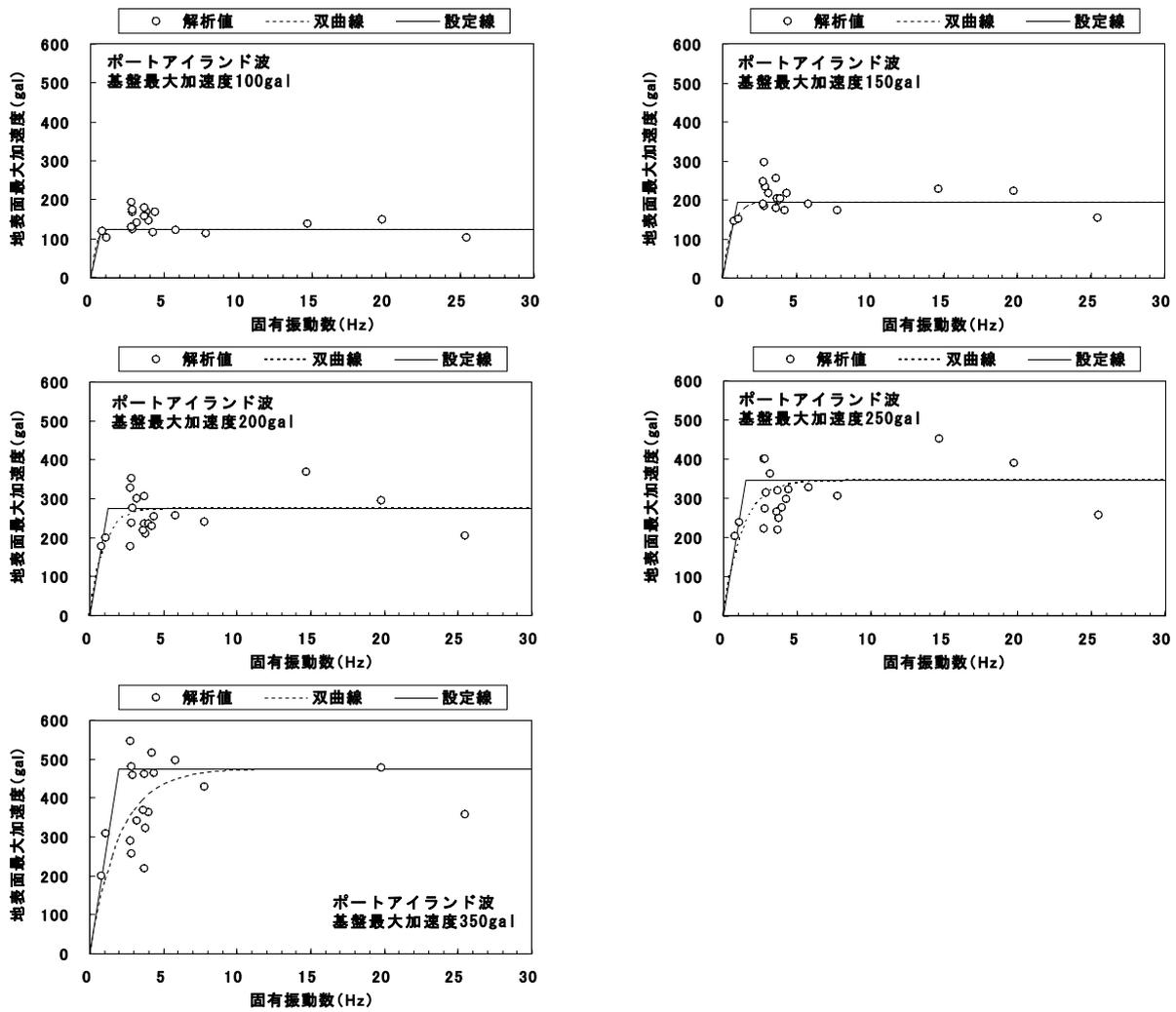


図7 固有振動数と地表最大加速度の関係（ポートアイランド波）

表3 地表最大加速度の推定式

入力加速度 (gal) \ 入力波形	八戸波	大船渡波	ポートアイランド波
100	$\alpha_{S_{MAX}} = 105f \quad (f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 105 \quad (f > 1.0)$	$\alpha_{S_{MAX}} = 100f \quad (f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 3.75f + 96.25 \quad (1.0 < f \leq 5.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 115 \quad (f > 5.0)$	$\alpha_{S_{MAX}} = 166.67f \quad (f \leq 0.75)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 125 \quad (f > 0.75)$
150	$\alpha_{S_{MAX}} = 145.45f \quad (f \leq 1.1)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 160 \quad (f > 1.1)$	$\alpha_{S_{MAX}} = 150f \quad (f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 10f + 140 \quad (1.0 < f \leq 5.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 190 \quad (f > 5.0)$	$\alpha_{S_{MAX}} = 195f \quad (f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 195 \quad (f > 1.0)$
200	$\alpha_{S_{MAX}} = 177f \quad (0.5 \leq f \leq 1.3)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 230 \quad (f > 1.3)$ (現行と同じ)	$\alpha_{S_{MAX}} = 190f \quad (0.5 \leq f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 27.5f + 162.5 \quad (1.0 < f \leq 5.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 305 \quad (f > 5.0)$ (現行と同じ)	$\alpha_{S_{MAX}} = 220f \quad (f \leq 1.25)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 275 \quad (f > 1.25)$
250	$\alpha_{S_{MAX}} = 200f \quad (0.5 \leq f \leq 1.5)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 300 \quad (f > 1.3)$ (現行と同じ)	$\alpha_{S_{MAX}} = 190f \quad (0.5 \leq f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 53.3f + 136.7 \quad (1.0 < f \leq 5.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 350 \quad (f > 5.0)$ (現行と同じ)	$\alpha_{S_{MAX}} = 230f \quad (f \leq 1.5)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 345 \quad (f > 1.5)$
350	$\alpha_{S_{MAX}} = 205.26f \quad (f \leq 1.9)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 390 \quad (f > 1.9)$	$\alpha_{S_{MAX}} = 350f \quad (f \leq 1.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 15f + 335 \quad (1.0 < f \leq 5.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 410 \quad (f > 5.0)$	$\alpha_{S_{MAX}} = 237.5f \quad (f \leq 2.0)$ $\alpha_{S_{MAX}} = 475 \quad (f > 2.0)$

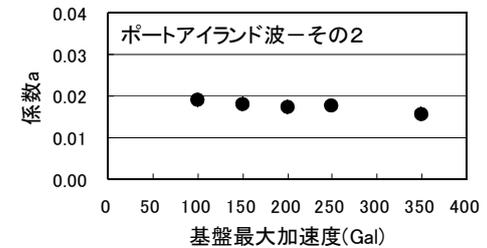
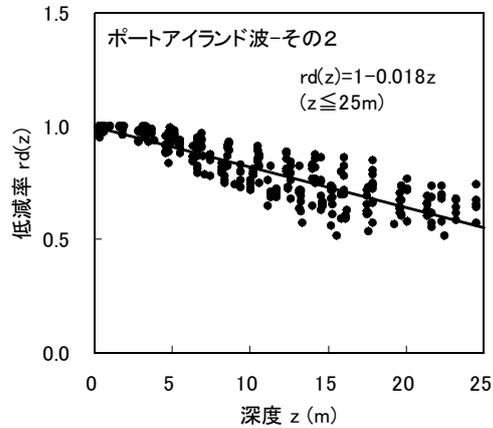
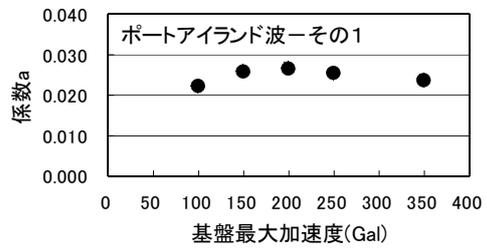
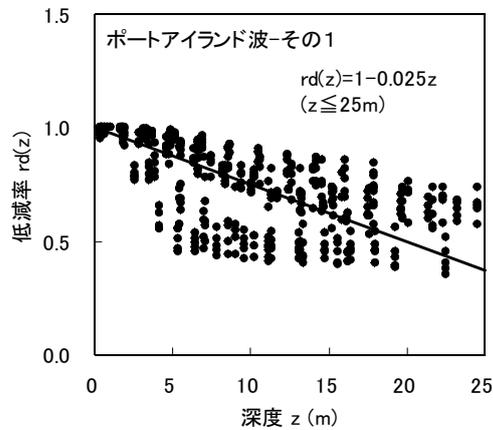
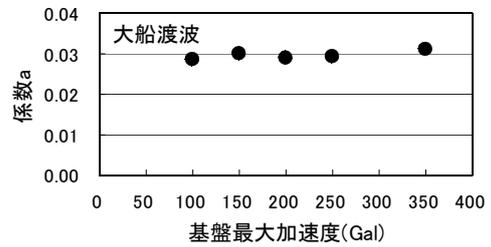
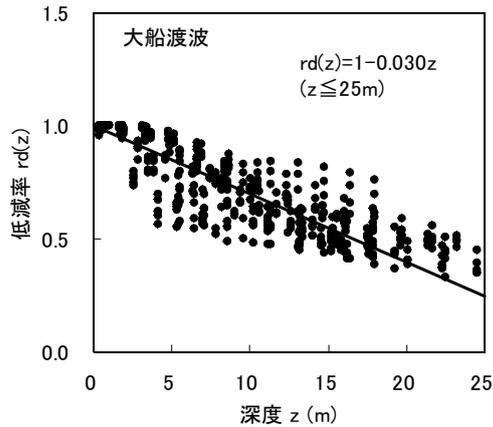
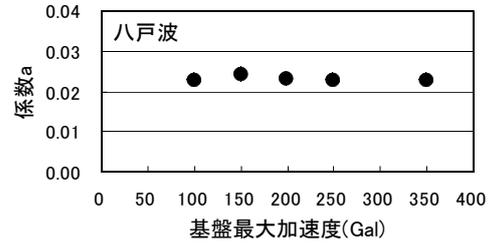
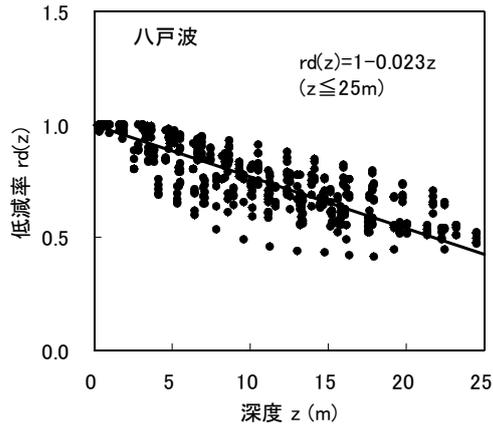


図8 せん断応力の低減率と深さの関係

図9 基盤最大加速度と係数 a の関係

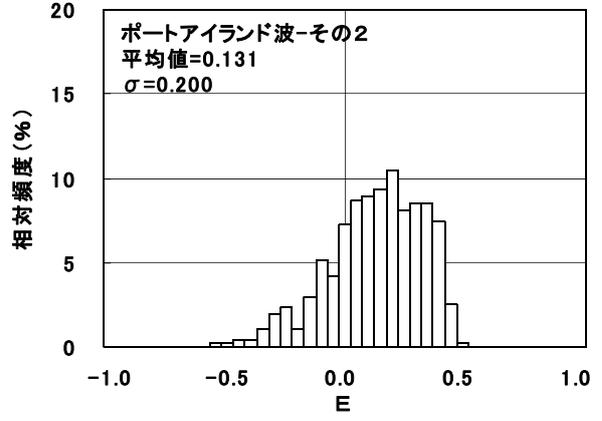
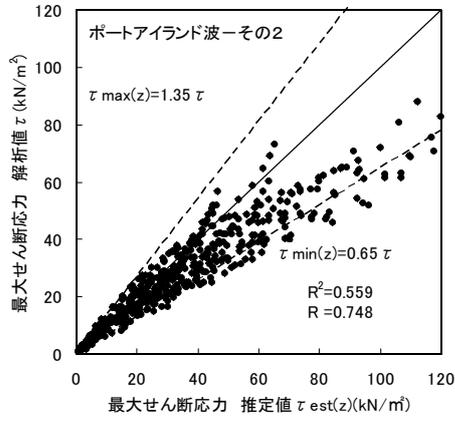
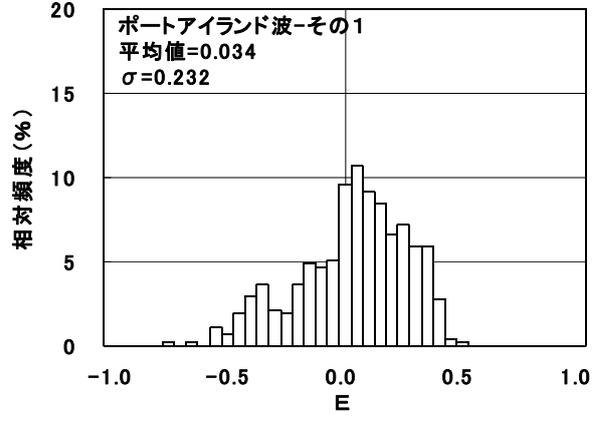
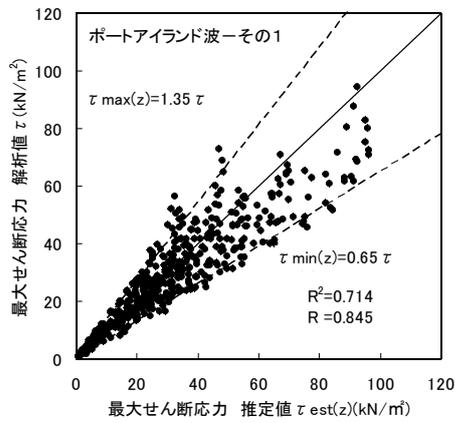
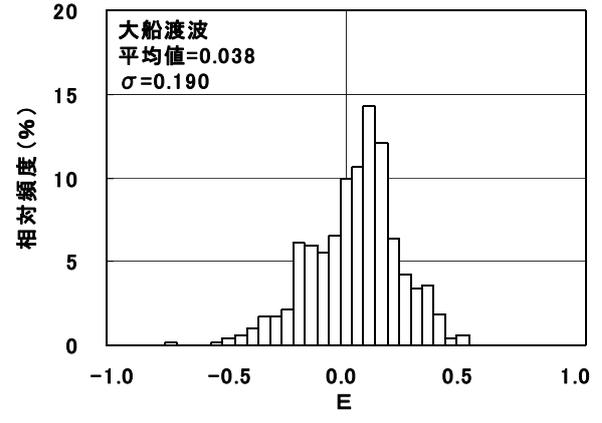
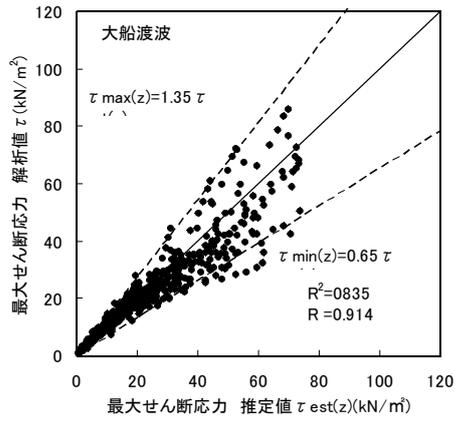
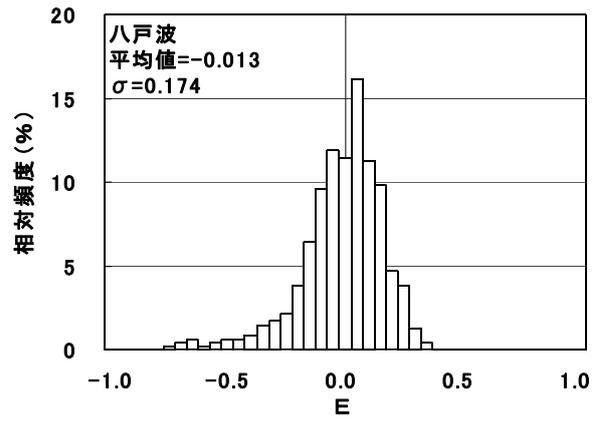
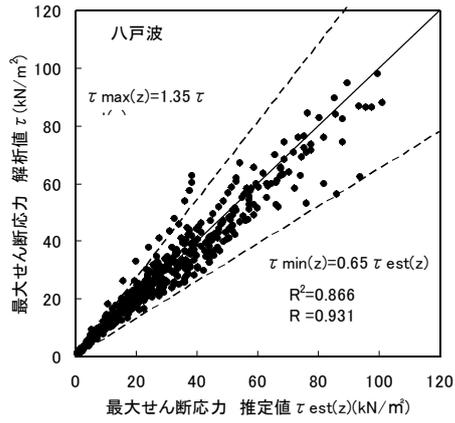


図10 最大せん断応力の推定値と解析値

図11 Eのヒストグラム

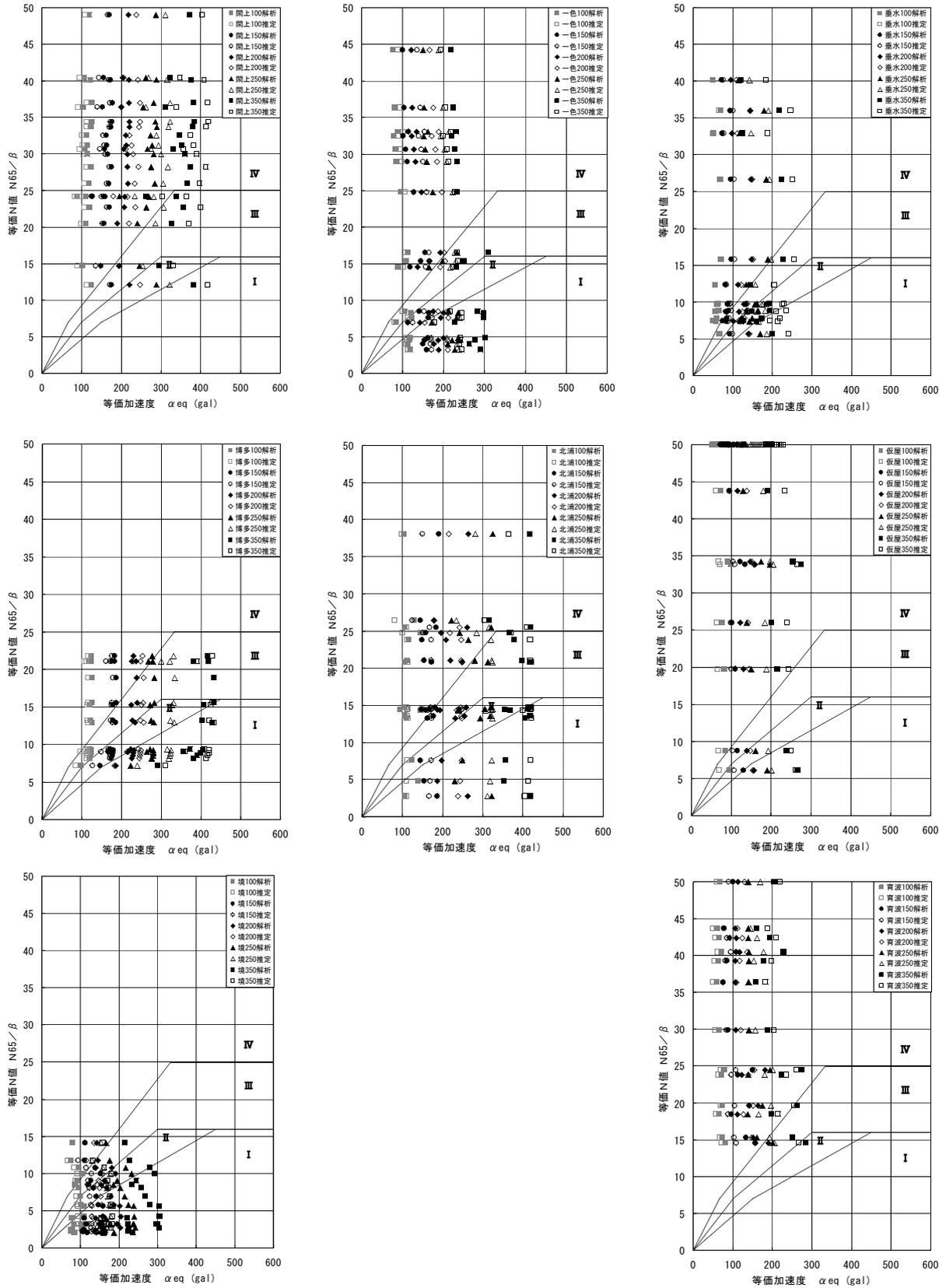


図12 推定値と解析値による液状化判定のための等価N値と等価加速度の関係 (八戸波)

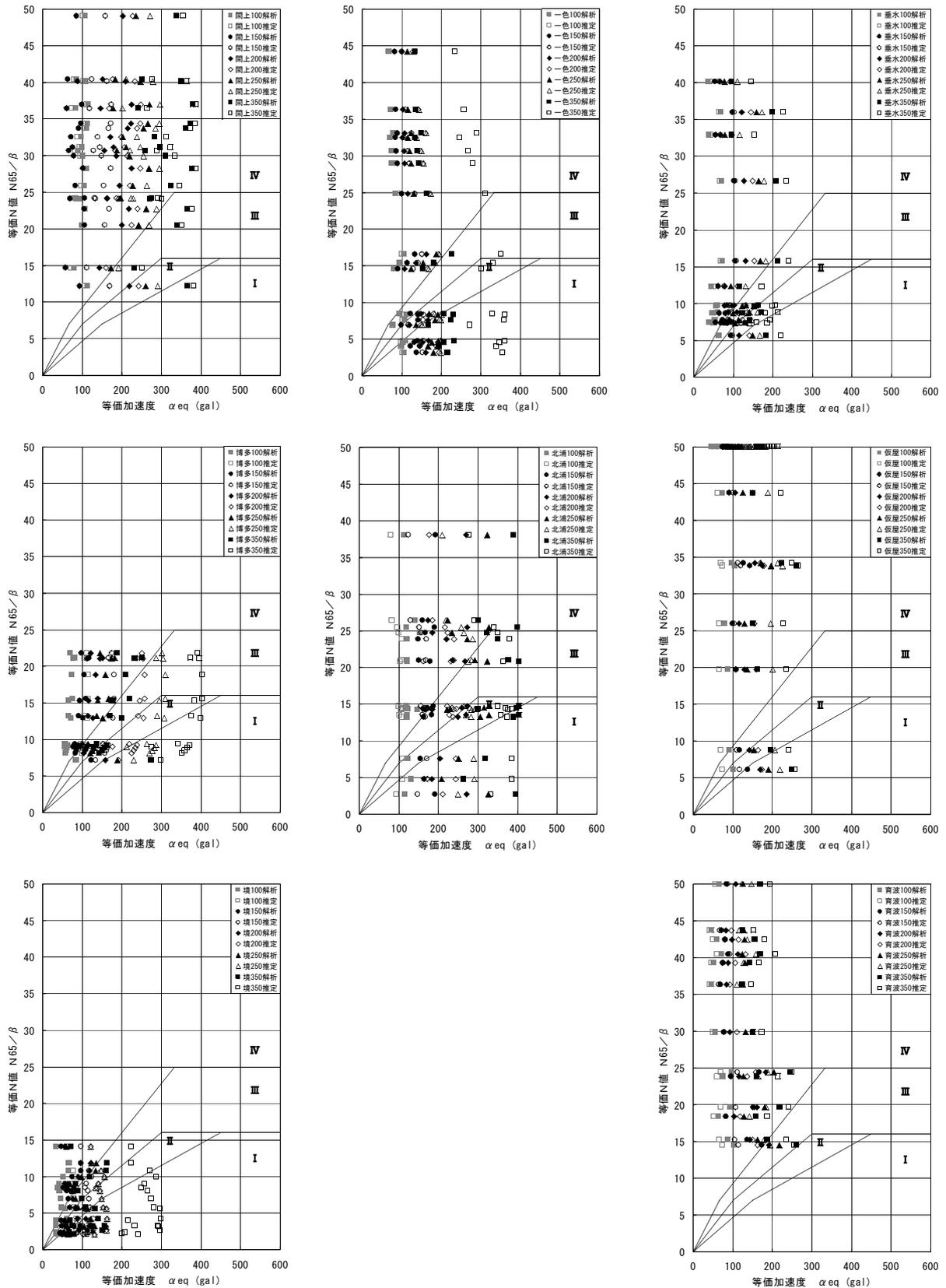


図13 推定値と解析値による液状化判定のための等価N値と等価加速度の関係 (大船渡波)

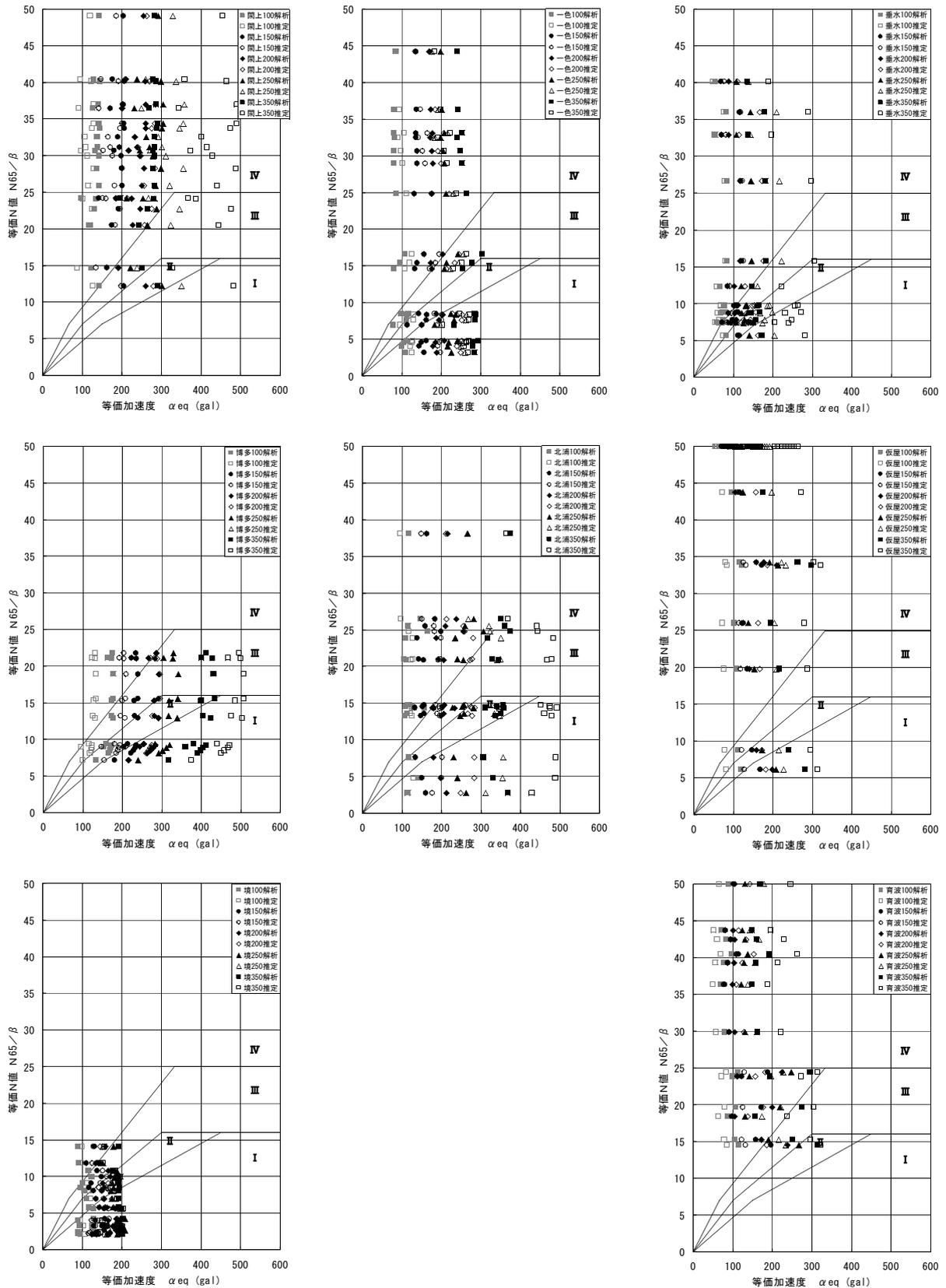


図14 推定値と解析値による液状化判定のための等価N値と等価加速度の関係
(ポートアイランド波-その1)

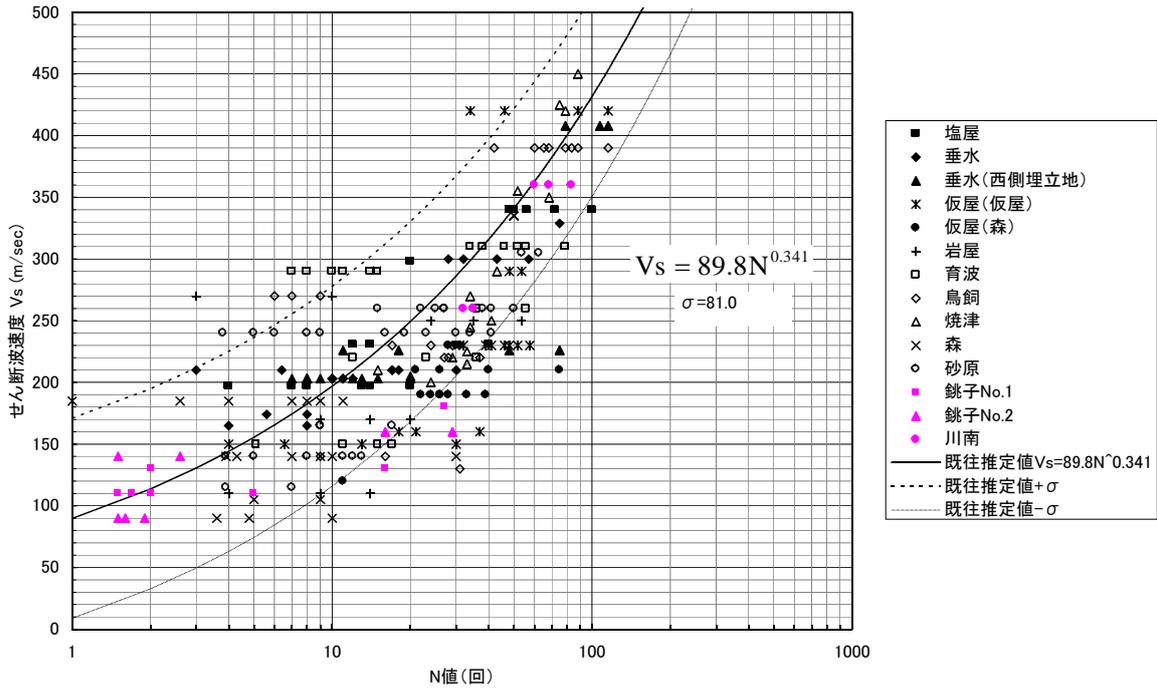


図15 N値とせん断波速度Vsの関係

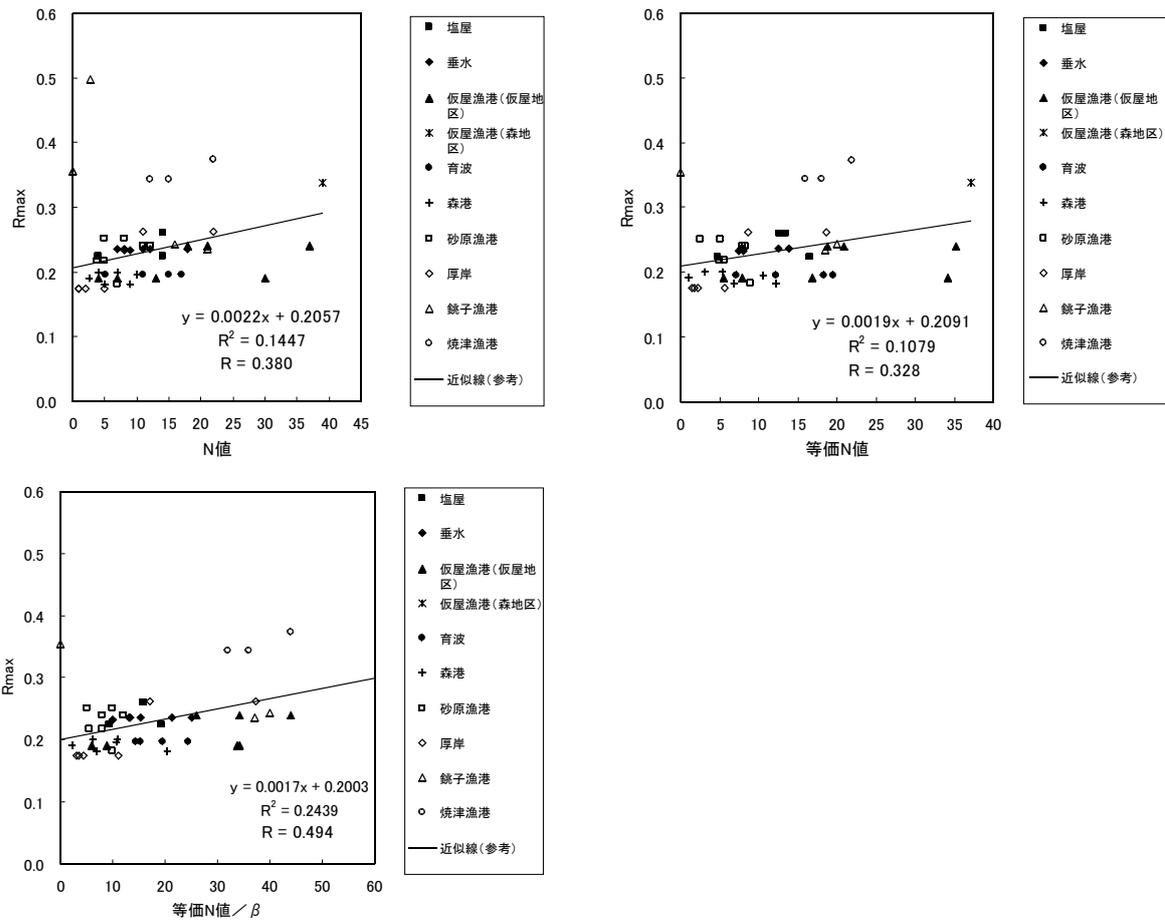


図16 N値および粒度分布と液状化強度Rmaxの関係