

【留意事項】本資料は事務局案であり、今後、検討や見直しを必要とする内容が含まれている。

資料 1

# 埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討

## 第 4 回委員会資料

### ■目次

「埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討」第 4 回委員会における検討の視点	1
1. $N_0$ 値および間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と地盤改良効果の関係について	2
1.1 $N_0$ 値と薬液により改良された地盤の一軸圧縮強さ $q_u$ の関係	2
1.2 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と改良効果の関係	5
1.3 試験装置の違いによる計測値への影響	7
2. 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法について	10
2.1 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法（案）	10
2.2 地盤改良効果を確認するための調査数量および調査位置の考え方	13
2.3 適用上の留意点	14
検討のまとめ（案）	17

国土交通省 港湾局

平成 30 年 3 月 15 日

# 「埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討」第4回委員会における検討の視点

地盤の不均一性が大きい埋立地等を対象とした液状化対策を主目的とする薬液注入工法による地盤改良工事における、改良効果の確認方法を検討する。  
 地盤改良効果の調査方法として、間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験を用いた原位置試験による改良効果の定量的な確認方法およびその適用における留意点を検討する。

## 1. $N_0$ 値および間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と地盤改良効果の関係について

課題	<第3回委員会意見>	検討内容
(1) $N_0$ 値と薬液により改良された地盤の一軸圧縮強さ $q_v$ の関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>原地盤の密度状態と改良後の <math>N_0</math> 値および一軸圧縮強さ <math>q_v</math> がどのような関係になるか、整理する必要があるのではないか。</li> <li>薬液改良より付与される粘着力が、改良後の <math>N_0</math> 値にどのように現れるか適切に評価する整理方法を検討する必要があるのではないか。</li> <li>対象地盤の細粒分含有率が <math>N_0</math> 値と一軸圧縮強さ <math>q_v</math> の関係に与える影響を把握する必要があるのではないか。</li> <li>現地施工では <math>50\text{kN/m}^2</math> から <math>100\text{kN/m}^2</math> 程度の設計強度が多く用いられることを踏まえ、当該強度のデータを充実させる必要があるのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密度状態に応じた一軸圧縮強さ <math>q_v</math> をシリカ濃度ごとに詳細に把握することで、<math>N_0</math> 値と一軸圧縮強さ <math>q_v</math> の関係を明らかにした。</li> <li><math>N_0</math> 値そのもの、土被り補正した等価 <math>N_0</math> 値、およびそれらの改良前後の増分 (<math>\Delta N_0</math> 値、<math>\Delta</math>等価 <math>N_0</math> 値) について、一軸圧縮強さ <math>q_v</math> との関係を整理し、薬液改良による強度増加を評価する上で最適な方法を検討した。</li> <li>細粒分含有率が異なる2種類の地盤材料を用いた実験の結果から、細粒分含有率が薬液改良土の <math>N_0</math> 値に与える影響を検討した。</li> <li><math>q_v=100\text{kN/m}^2</math> 程度の地盤の <math>N_0</math> 値データを取得し、検討に反映させた。</li> </ul>
(2) 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と改良効果の関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>間隙水圧応答と一軸圧縮強さ <math>q_v</math> あるいは <math>N_0</math> 値との関係についても確認しておく必要があるのではないか。</li> <li>薬液が貝殻等の土中の物質と反応して二酸化炭素が発生することで地盤が不飽和状態となり、間隙水圧応答に影響する可能性があるため、間隙水圧応答から改良効果を評価する際は注意が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現地実験データを用いて、間隙水圧応答と地盤強度 (<math>N_0</math> 値) の関係を考察した。</li> <li>不飽和地盤では間隙水圧応答を正確に計測できないため、結果の整理における留意点とした。</li> </ul>
(3) 試験装置の違いによる計測値への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一地盤において中型試験機(MRS)及び大型試験機(SRS)の両方で調査を実施し、双方の適用性を確認してはどうか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一サイトで行った中型試験機(MRS)と大型試験機(SRS)の計測値を比較し、適用性を検討した。</li> </ul>

## 2. 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法について

(1) 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法(案)	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価手法で用いる一軸圧縮強さ <math>q_v</math> と <math>N_0</math> 値の関係は、室内実験結果だけでなく、実地盤で得られたのデータも加えて検討したほうがよい。</li> <li>地盤工学会の基準に準拠し、動的コーン貫入試験で得られる <math>N_0</math> 値は深度方向 <math>20\text{cm}</math> 毎に整理してはどうか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験結果にもとづき <math>N_0</math> 値から一軸圧縮強さ <math>q_v</math> を算定する方法を検討し、実地盤データを用いて検証を行った。</li> <li><math>N_0</math> 値は深度方向 <math>20\text{cm}</math> 毎に整理することを基本とし、算定された結果にもとづく改良効果の評価方法について検討した。</li> </ul>
(2) 地盤改良効果を確認するための調査数量および調査位置の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋立地等のような不均一地盤では、原地盤の土質の違いにより改良効果の評価に影響が出やすいため、事前・事後調査はなるべく近くで実施した方がよい。</li> <li>動的コーン貫入試験は、既往調査孔が近くにあると孔曲がりの原因となり、正しい試験結果が得られない可能性があるため、事前・事後(効果確認)調査の位置は、ある程度の離隔を確保する必要がある。</li> <li>事前調査を改良体の中心付近で行うと、薬液注入時に調査孔から薬液がリークする可能性があるため、事前調査の実施位置は改良体半径の <math>1/2</math> よりも外側に配置した方がよい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤改良後の調査への影響、および薬液注入時にリーク等の施工障害の原因にならないよう、標準的な試験の実施順序や位置について検討した。</li> <li>改良対象地盤の土質および改良仕様に基づき、改良後に想定される <math>N_0</math> 値を考慮して試験装置を選定する方法を検討した。</li> <li>試験装置および <math>N_0</math> 値の標準的な算定方法を整理した。</li> <li>改良対象地盤の性状や設計強度が小さいことにより、動的コーン貫入試験の <math>N_0</math> 値のみでは改良効果の判定が難しい場合の対応について整理した。</li> </ul>
(3) 適用上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>現地施工では主に一軸圧縮強さ <math>q_v</math> が <math>50\text{kN/m}^2</math> から <math>100\text{kN/m}^2</math> 程度の地盤が対象となることを踏まえ、改良対象地盤にあわせて地盤の強度を適切に評価できる試験機を使用する必要がある。</li> </ul>	

# 1. $N_d$ 値および間隙水圧応答(累積過剰間隙水圧比)と地盤改良効果の関係について

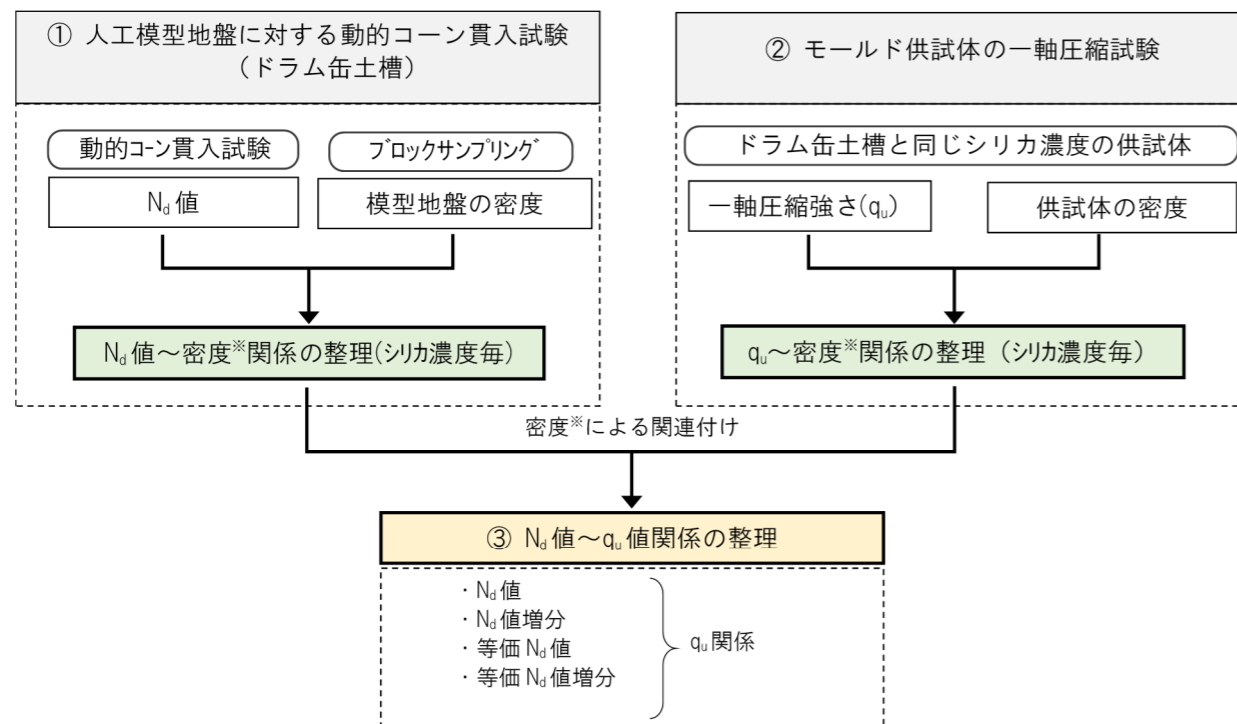
## 1.1 $N_d$ 値と薬液により改良された地盤の一軸圧縮強さ $q_u$ の関係

### (1) 人工模型地盤実験の概要と方法

- ・ 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験(PDC 等)により薬液改良工法による地盤改良効果を評価するためには、 $N_d$  値と一軸圧縮強さ  $q_u$  の関係を把握する必要がある。
- ・ しかし、埋立地のような不均一な地盤で得られる計測値は、実地盤の土質のばらつきの影響を受けるため、 $N_d$  値と一軸圧縮強さ  $q_u$  の純粋な関係を抽出することができない。
- ・ そこで、両者の基本的な関係を把握することを目的に、強度や物性値が明確で均一な人工模型地盤を用いて行われた室内実験の結果をもとに検討を行った。

#### 【実験の手順】

- ① 人工模型地盤(ドラム缶土槽)に対する動的コーン貫入試験**
  - ・ 未改良地盤および薬液により改良された地盤を模擬した人工模型地盤(ドラム缶土槽)で動的コーン貫入試験を実施し、 $N_d$  値を計測
  - ・ 動的コーン貫入試験後にドラム缶土槽を解体し、採取したブロックサンプリング試料を用いて、 $N_d$  値を測定した深度の土の密度を計測
- ② モールド供試体を用いた一軸圧縮試験**
  - ・ ドラム缶土槽と同一条件で作製したモールド供試体を用いて、一軸圧縮試験および密度試験を実施し、一軸圧縮強さ  $q_u$  ~ 密度関係を正確に把握
- ③  $N_d$  値-一軸圧縮強さの関係の整理**
  - ・ モールド供試体で把握した一軸圧縮強さ  $q_u$  ~ 密度関係から、 $N_d$  値測定深度の土の密度に対応する一軸圧縮強さ  $q_u$  を求め、 $N_d$  値 ~ 一軸圧縮強さ  $q_u$  関係を整理

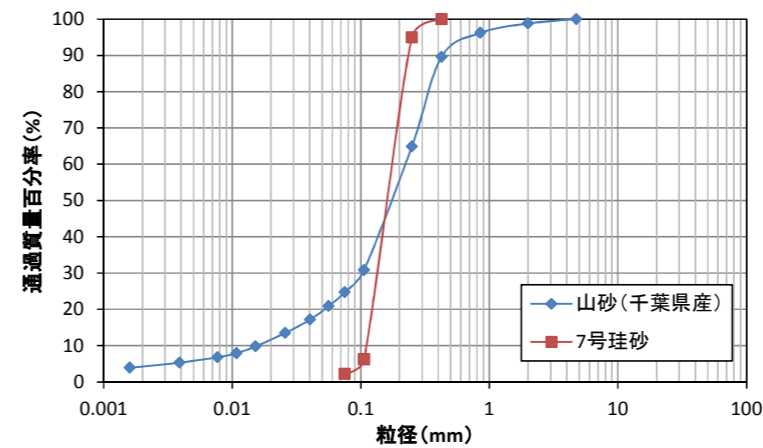


※ 密度に関しては、当初実験では相対密度により整理したが、細粒分を含む砂では相対密度による整理が難しいため、乾燥密度で整理することとした。

#### 人工模型地盤実験の実施および結果整理のフロー

#### 【使用材料の物理特性】

- ・ 細粒分含有率の違いによる影響をみるため、2種類の材料砂、珪砂 (Fc=2%) と山砂 (Fc=25%) を使用。



項目	珪砂 7号	山砂 (千葉)
礫分 (%)	0	1
砂分 (%)	98	74
細粒分 (%)	2	25
$D_{50}$ (mm)	0.17	0.18
均等係数	1.5	14.6
液性限界 (%)	NP	NP
塑性限界 (%)	NP	NP
最小密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.272	1.066
最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.629	1.404

#### 【人工模型地盤の作製】

- ・ 珪砂は、目標密度にあわせて 5cm/層として水中 (薬液中) 落下法で作製。
- ・ 山砂は、水中落下法では分級し均一地盤を作製できないため、薬液と砂を事前混合した後、土槽につめる方法 (ウェットタッピング法) で作製。
- ・ 密度状態は、珪砂と山砂それぞれについて 2 種類の条件を設定。

それぞれの材料の密度状態

【珪砂】 緩詰め：乾燥密度  $\rho_d=1.40\sim 1.43\text{g/cm}^3$  ( $D_r=50\%$ 相当)  
密詰め：乾燥密度  $\rho_d=1.54\text{g/cm}^3$  ( $D_r=80\%$ 相当)

【山砂】 密度大：乾燥密度  $\rho_d=1.36\text{g/cm}^3$  ( $D_r=100\%$ 相当)  
密度最大：乾燥密度  $\rho_d=1.49\text{g/cm}^3$  ( $D_r=130\%$ 相当)

**【実験ケース】**

- ・ 珪砂と山砂それぞれについて、シリカ濃度と密度状態の組み合わせにより、実験ケースを設定。
- ・ また、土被りの影響をみるために上載荷重（45kN/m<sup>2</sup>）をかけたケースを実施。

試料:7号珪砂( $F_c=2\%$ )

凡例	シリカ濃度 (%)	目標密度状態 [ $\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )]	実測密度		上載荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
			$D_r$ (%)	$\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	
◆	2	緩詰め [1.40~1.43]	48	1.420	0
◇	4		49	1.425	
◇	6		57	1.453	
◇	9		57	1.452	
■	0	密詰め [1.54]	—	—	0
■	4		75	1.523	
×	0	緩詰め [1.40~1.43]	—	—	45
◆	2		40	1.394	
+	0	密詰め [1.54]	—	—	45
■	2		79	1.538	

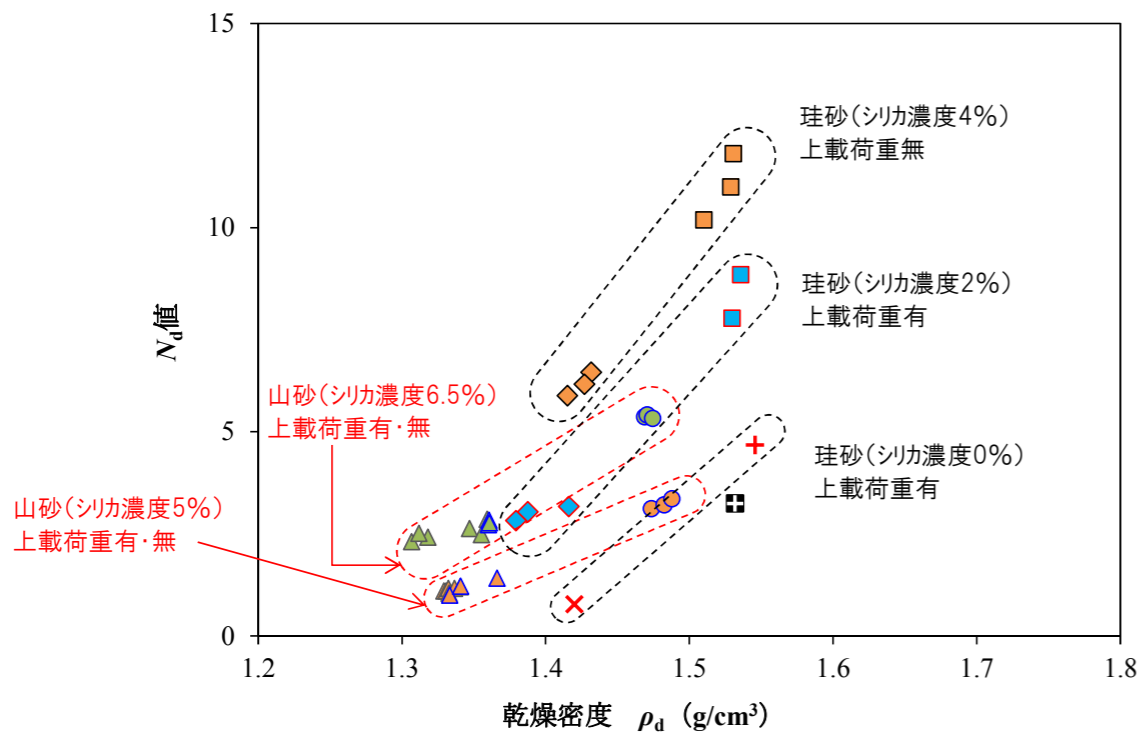
試料:山砂( $F_c=25\%$ )

凡例	シリカ濃度 (%)	目標密度状態 [ $\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )]	実測密度		上載荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
			$D_r$ (%)	$\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	
▲	5	密度大 [1.36]	83	1.331	0
▲	6.5		78	1.312	
▲	8		80	1.321	
▲	5	密度大 [1.36]	87	1.347	45
▲	6.5		90	1.361	
▲	8		91	1.366	
○	0	密度最大 [1.49]	124	1.521	45
○	5		116	1.481	
○	6.5		114	1.471	

**(2) 実験結果 密度~ $N_d$ 値の関係、密度~一軸圧縮強さ  $q_u$ の関係**

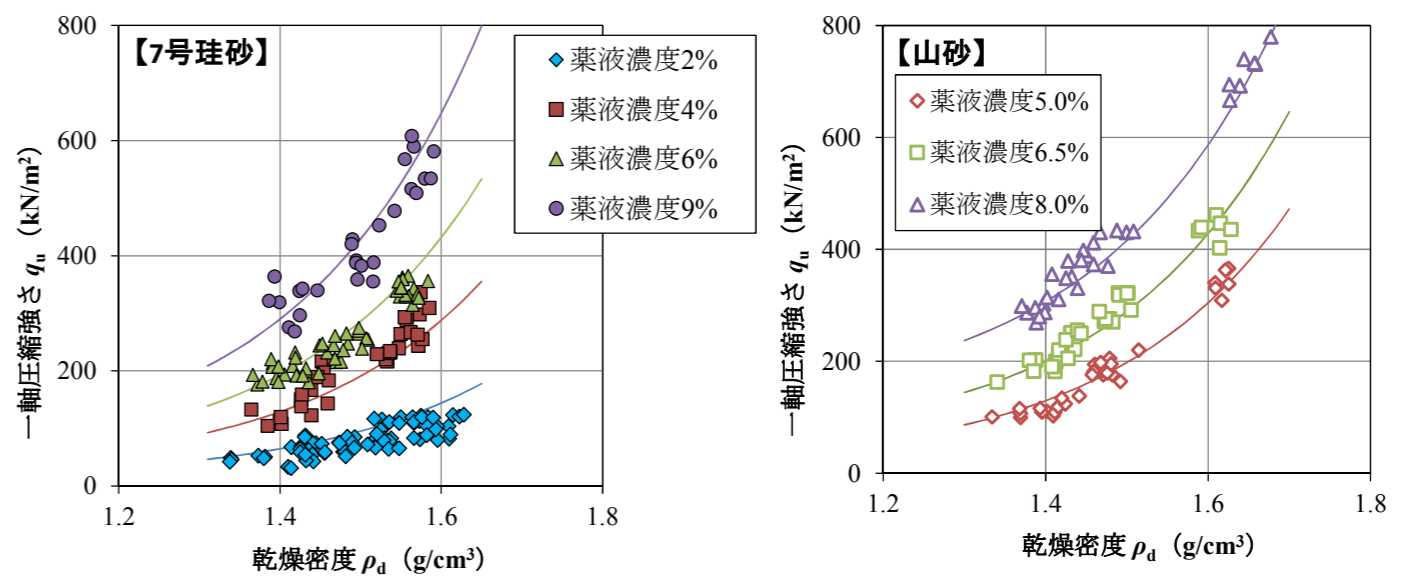
**$N_d$ 値~密度関係**

- ・ 同じシリカ濃度るとき、密度条件（乾燥密度）と  $N_d$  値との間には相関が見られる。



**一軸圧縮強さ  $q_u$ ~密度関係**

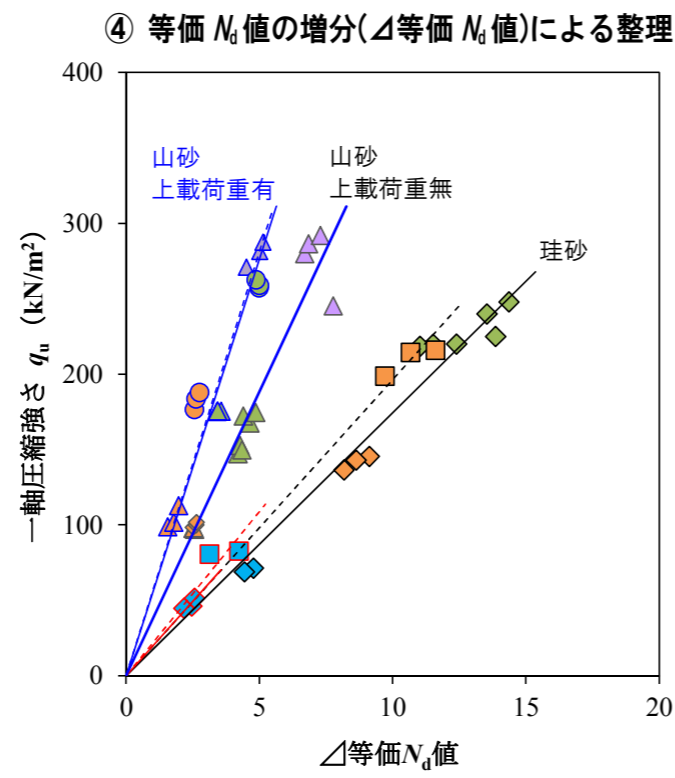
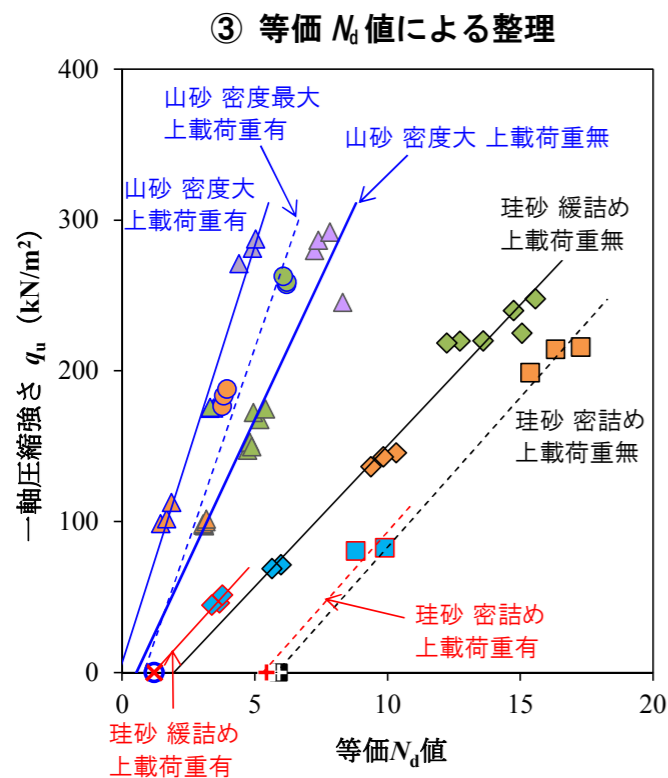
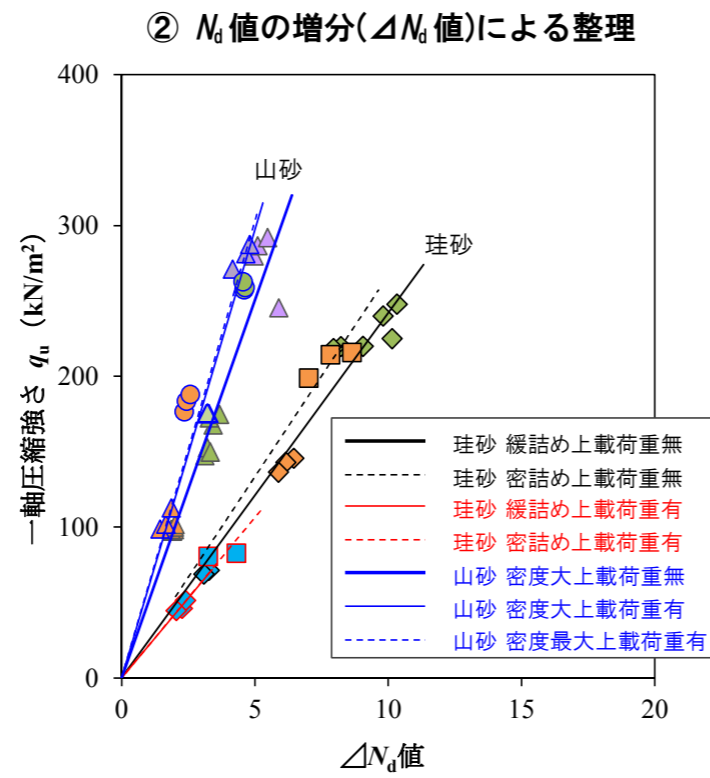
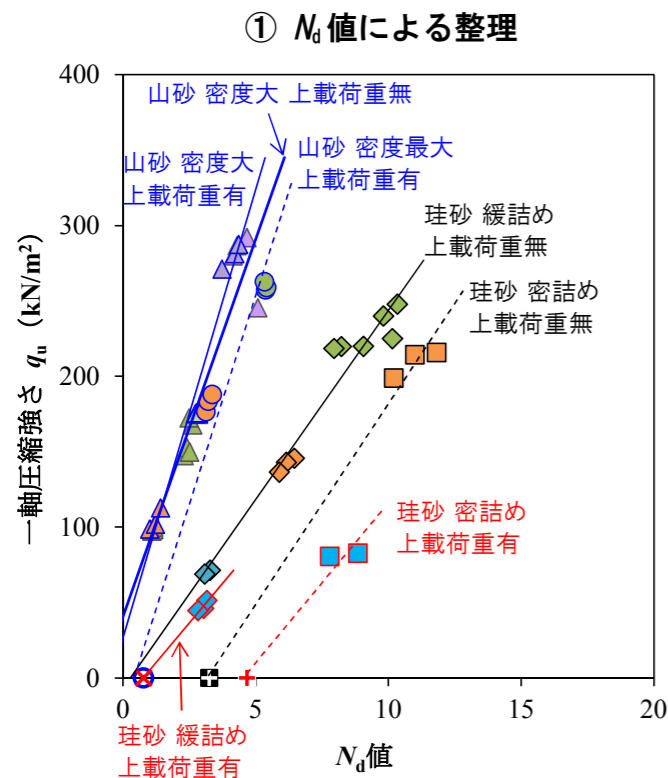
- ・ 同じシリカ濃度であれば、乾燥密度が大きいほど一軸圧縮強さ  $q_u$  は大きくなる。
- ・ 珪砂ではシリカ濃度が高いほど、密度が高いときに一軸圧縮強さ  $q_u$  の増加がより顕著に現れる傾向を示す。



※ 密度に関しては、当初実験では相対密度により整理したが、細粒分を含む砂では相対密度による整理が難しいため、乾燥密度で整理することとした。

### (3) 実験結果 $N_d$ 値と一軸圧縮強さ $q_u$ の関係

- 一軸圧縮強さ  $q_u$  は、土の種類(珪砂  $F_c=2\%$  と山砂  $F_c=25\%$ )毎に、 $N_d$  値増分 ( $\Delta N_d$  値) と高い相関がある。
- 同じ一軸圧縮強さ  $q_u$  に対する  $\Delta N_d$  値は、珪砂 > 山砂 であり、 $q_u \sim \Delta N_d$  値関係は細粒分含有率に依存すると考えられる。
- 細粒分を含む土では、土被りによる補正 (等価  $N_d$  値) は適さない。
- 以上のことから、改良土の一軸圧縮強さ  $q_u$  は、原地盤の細粒分含有率を考慮した上で  $N_d$  値増分 ( $\Delta N_d$  値) との関係により推定するのが妥当と考えられる (下図②  $\Delta N_d$  値による整理)。



#### ① $N_d$ 値による整理結果

- 同一の土の種類、密度、上載荷重条件であれば、 $q_u \sim N_d$  値関係には相関がある。
- 珪砂では、密度および上載荷重の有無毎にそれぞれ異なる線形の相関を示す。
- 山砂では、密度毎に異なる線形の相関を示すが、上載荷重の有無による違いは小さい。
- 珪砂(緩詰め, 上載荷重無)では、 $q_u=0$  のとき  $N_d$  値  $\approx 0$  である。山砂(密度大)では、 $q_u=0$  のとき  $N_d$  値はマイナス値となる。

#### ② $\Delta N_d$ 値による整理結果

- 密度および上載荷重の有無による違いに関係なく、 $q_u \sim \Delta N_d$  値関係は珪砂と山砂それぞれにおいて概ね 1 つの線形の相関によりあらわされる。
- 同じ  $q_u$  のとき  $\Delta N_d$  値は珪砂 > 山砂 となっており、 $q_u \sim \Delta N_d$  値関係は細粒分含有率に依存する。

#### ③ 等価 $N_d$ 値による整理結果

- 珪砂では、上載荷重の有無による差がほとんどなくなり、密度毎の線形の相関を示す。
- 山砂では、上載荷重の有無による違いが顕著となる。

#### ④ $\Delta$ 等価 $N_d$ 値による整理結果

- 珪砂では、密度および上載荷重の有無による違いが補正され、 $q_u \sim \Delta$ 等価  $N_d$  値関係は概ね 1 つの線形の相関によりあらわされる。ただし、 $q_u \sim \Delta N_d$  値関係と比べてややばらつきが大きい。
- 山砂では、密度の違いは補正されるが、上載荷重の有無により異なる線形の相関を示す。

試料: 7号珪砂 ( $F_c=2\%$ )

凡例	シカ濃度 (%)	目標密度状態 [ $\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )]	実測密度		上載荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
			$D_r$ (%)	$\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	
◆	2	緩詰め [1.40~1.43]	48	1.420	0
◇	4		49	1.425	
◇	6		57	1.453	
◇	9		57	1.452	
■	0		—	—	
■	4	密詰め [1.54]	75	1.523	45
×	0	緩詰め [1.40~1.43]	—	—	
◇	2	—	40	1.394	
+	0	密詰め [1.54]	—	—	
■	2	—	79	1.538	

試料: 山砂 ( $F_c=25\%$ )

凡例	シカ濃度 (%)	目標密度状態 [ $\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )]	実測密度		上載荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
			$D_r$ (%)	$\rho_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	
▲	5	密度大 [1.36]	83	1.331	0
▲	6.5		78	1.312	
▲	8		80	1.321	
▲	5		87	1.347	
▲	6.5	密度大 [1.36]	90	1.361	45
▲	8		91	1.366	
○	0		—	—	
○	5	密度最大 [1.49]	124	1.521	
○	6.5		116	1.481	
○	6.5		114	1.471	

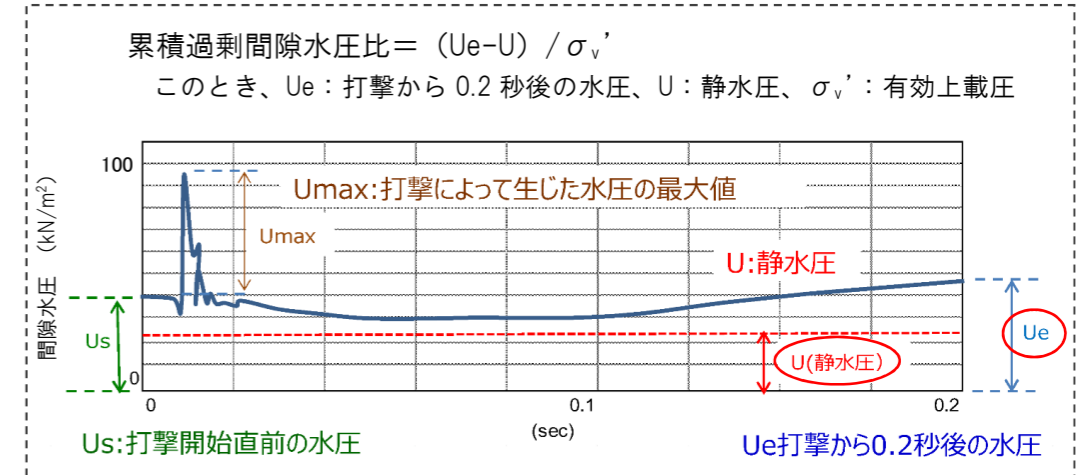
## 1.2 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と改良効果の関係

### 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）による改良状態（薬液浸透の有無）の判定

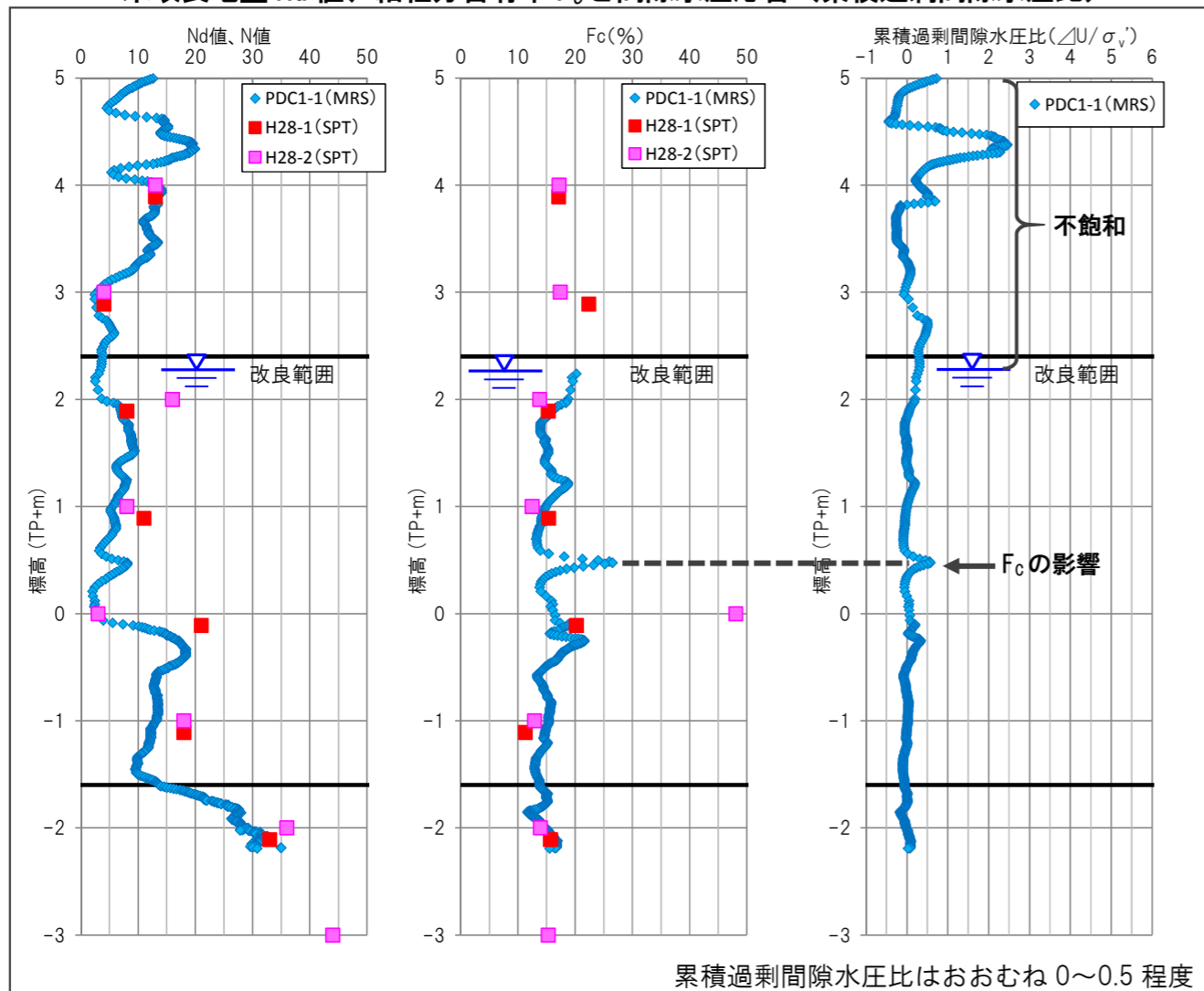
- ・ 薬液改良後の地盤は透水性が低下し間隙水圧が残留しやすくなるため、未改良地盤と比べて累積過剰間隙水圧比  $((U_e - U) / \sigma_v')$  が増加する。
- ・ 改良後の累積過剰間隙水圧比が改良前と比べて明確に増加していれば、地盤に薬液が浸透していることを判断する指標となる。
  - ・ 不飽和地盤では、間隙水圧を正確に計測できないため、調査時の地下水位からその影響を把握しておく必要がある。
  - ・ 薬液が貝殻等の土中の物質と反応して二酸化炭素が発生することで地盤が不飽和状態となり、間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）に影響する可能性があるため、改良状態を判定する際は注意が必要である。

### 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と改良地盤強度の関係

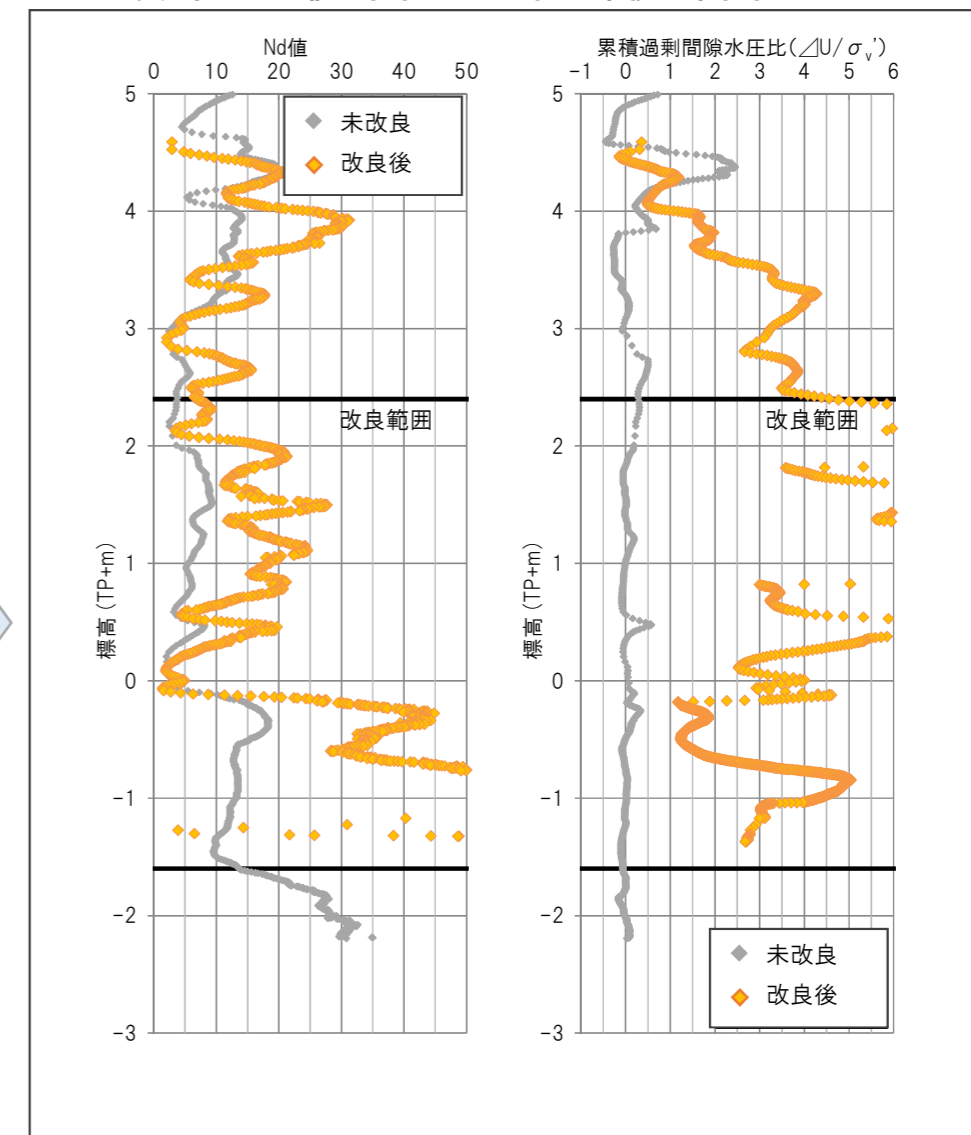
- ・ 累積過剰間隙水圧比と改良地盤の強度( $N_0$  値)の相関は低く、ばらつきも大きいため、間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）から改良強度を定量的に推定・評価することはできない。
  - ・ ・ ・ 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）は主として地盤の透水性に依存しており、強度との関係は不明確



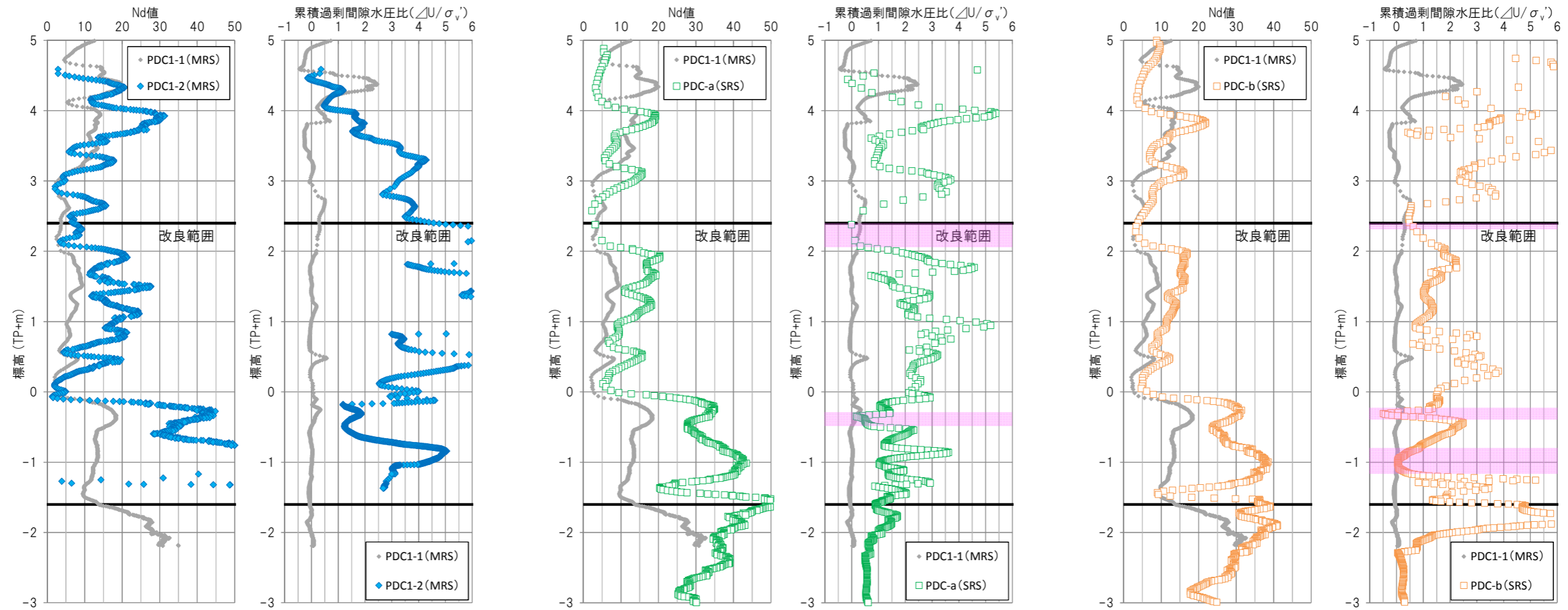
### 未改良地盤 $N_d$ 値、細粒分含有率 $F_c$ と間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）



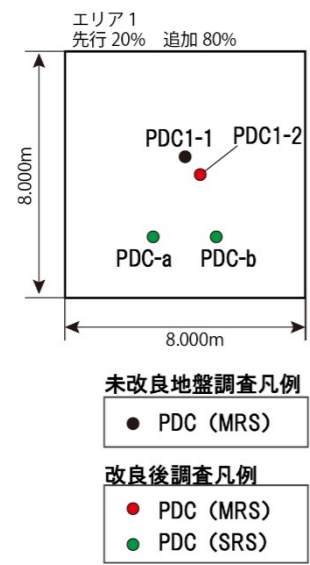
### 改良後の $N_d$ 値と間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）



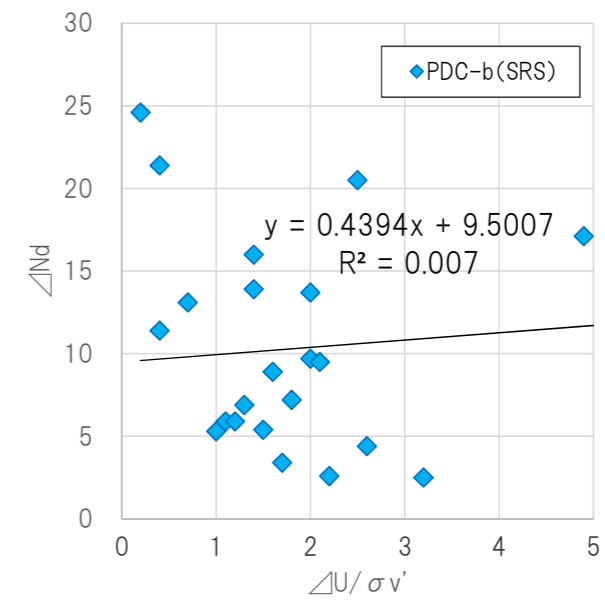
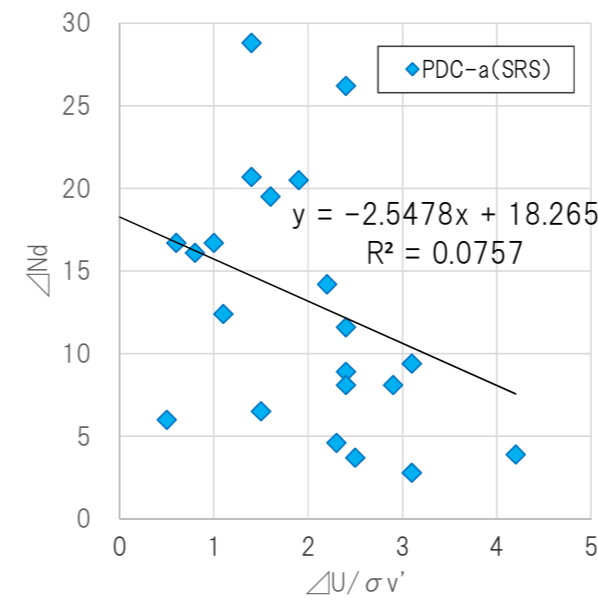
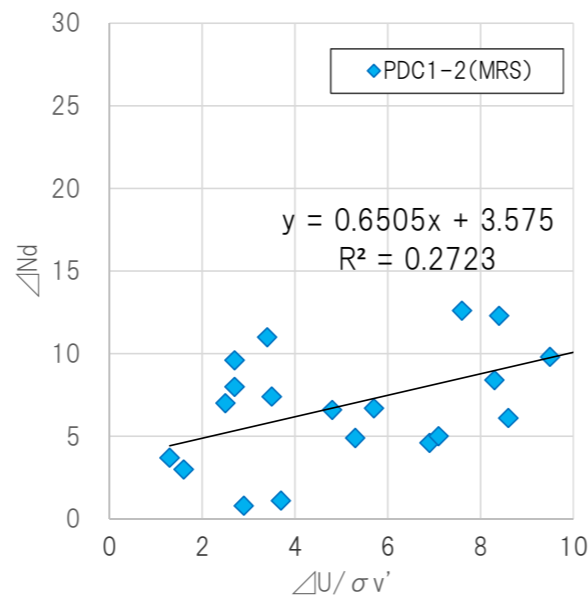
間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）の増加が見られない箇所・・・薬液が浸透していない可能性がある



改良地盤の  $N_d$  値と間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）の関係 PDC1-1：未改良 PDC1-2、PDC-a、PDC-b：改良後



位置図



$\Delta N_d$  値と間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）の相関

### 1.3 試験装置の違いによる計測値への影響

#### (1) 既往資料における扱い

・ JGS 基準では、大型試験機 (SRS) の単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーを基準とし、周面摩擦とエネルギーにより補正することで、各試験装置の結果は相互に比較できるとされている。すなわち、大型と中型いずれの装置を用いても、補正後の  $N_d$  値は同等に扱えるようになっている。

JGS 基準では、大型試験機 (SRS) の単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーを基準とし、動的コーン貫入試験の周面摩擦とエネルギーにより補正することで、次式により各試験装置の結果は相互に比較できるとされている。

**大型 (SRS) :**  $N_d = N_{dm} - 0.040M_v$

**中型 (MRS) :**  $N_d = 0.5(N_{dm} - \beta)M_v$  [ $\beta$  経験値 : 0.320、理論値 : 0.139]

ここに、 $N_{dm}$ =打撃回数 (20cm 貫入あたり)、 $M_v$ =トルク (N·m)、 $\beta$ =周面摩擦補正係数

※ なお、中型試験装置の  $\beta$  は理論値としては 0.139 であるが、これまでの大型試験装置の結果との整合性から一般には 0.320 が用いられることが多い。

(「新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 JIS 1437-2014」(公社)地盤工学会, 平成 28 年 2 月を一部修正)

間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験方法であるピエゾドライブコーン (PDC) のように、1 回の打撃毎に貫入量 ( $d$ ) が記録される試験装置では、次式により 1 打撃毎に換算した  $N_d$  値を求める。

**大型 (SRS) :**  $N_d = \frac{20}{d} - 0.040M_v$

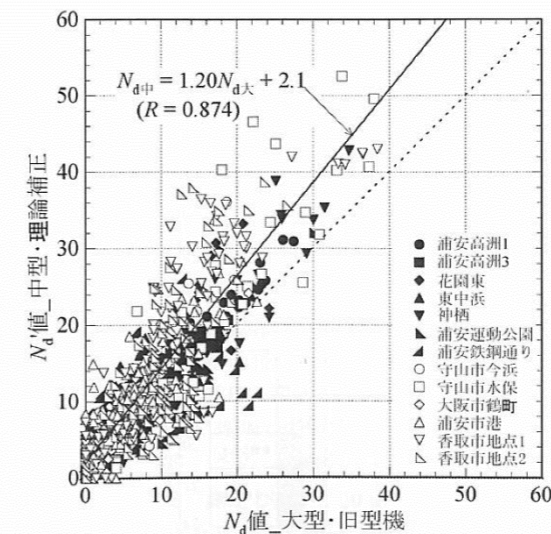
**中型 (MRS) :**  $N_d = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{20}{d} - \beta M_v \right) = \frac{10}{d} - \frac{\beta}{2} M_v$  [ $\beta$  経験値 : 0.320、理論値 : 0.139]

(「ピエゾドライブコーンの手引き」PDC コンソーシアム, 平成 26 年 12 月)

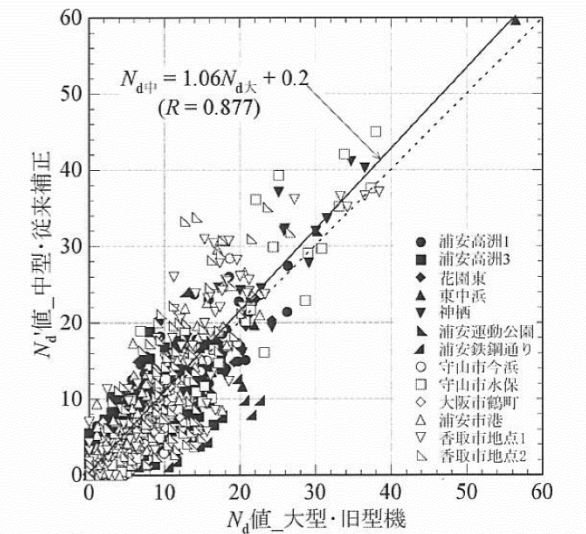
#### 大型、中型動的コーン貫入試験の打撃仕様と補正係数

「新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 JIS 1437-2014」(公社)地盤工学会, 平成 28 年 2 月

試験機種別	大型 (SRS)				中型 (MRS)	
	全自動式		半自動式	手動式	半自動式	手動式
	(旧型機)	(新型機)				
ハンマーガイド径 (mm)	101.6	48.6	25	40.5	20	40.5
ハンマー直径 $D_h$ (mm)	246	246	198	180	160	180
アンビル直径 $d$ (mm)	155	120	100	97	90	75
アンビル径/ハンマー径 $d/D_h$	0.63	0.49	0.51	0.54	0.56	0.42
打撃装置総質量 (kg)	177.5	80.5	90	93	62	43
ハンマー質量 $m$ (kg)	63.5			30		
落下高 $h$ (mm)	500			350		
コーン先端角 (°)	90			90		
コーンマントル長さ $L$ (mm)	90			69		
コーン直径 $D$ (mm)	45			36.6		
コーン断面積 $A$ ( $\times 10^{-4} \text{m}^2$ )	15.9			10.5		
ロッド直径 $d_r$ (mm)	32			28		
コーン直径/ロッド直径 $D/d_r$	1.41			1.31		
トルクによる周面摩擦補正係数 $\beta$	0.040			0.139		
単位面積当たりのエネルギー $E = mg_v h/A$ ( $\text{kJ/m}^2$ )	195.8			97.9		
SRS 基準のエネルギー比	1.00			0.500		
打撃回数測定時の貫入量 $P$ (m)	0.20			0.20		
単位貫入量当たりのエネルギー $E = mg_v h/A/P$ ( $\text{kJ/m}^2/\text{m}$ )	979.2			489.5		
SRS 基準のエネルギー補正係数 $\alpha$	1.000			0.500		

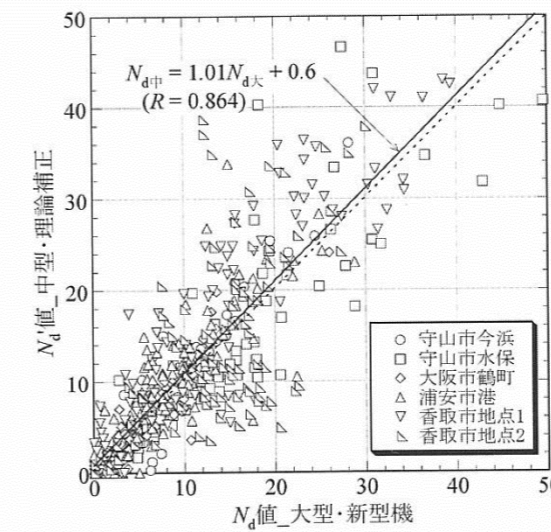


(a) 中型 (MRS) 理論補正

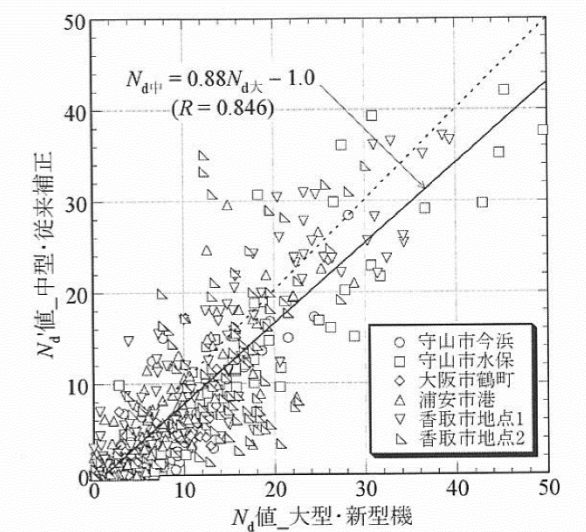


(b) 中型 (MRS) 従来補正

中型試験装置の補正  $N_d$  値と大型試験装置 (旧型機) の  $N_d$  値



(a) 中型・理論補正



(b) 中型・従来補正

中型試験装置の補正  $N_d$  値と大型試験装置 (新型機) の  $N_d$  値

中型試験装置の  $N_d$  値と大型試験装置の  $N_d$  値の関係

「新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 JIS 1437-2014」(公社)地盤工学会, 平成 28 年 2 月

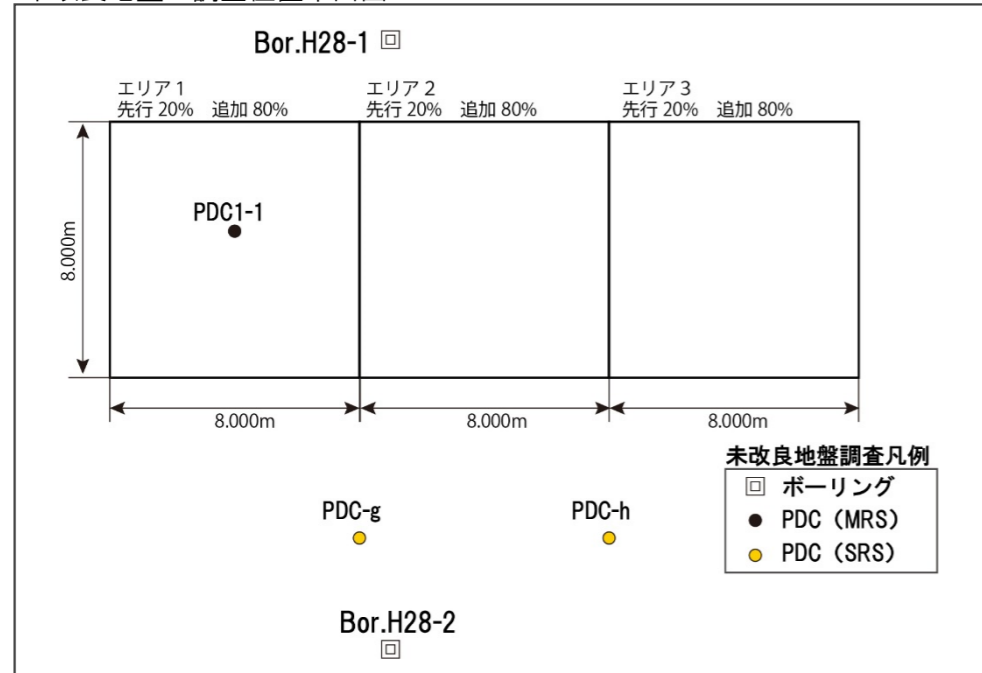


## (2) 中型試験機(MRS)と大型試験機(SRS)の比較実験結果

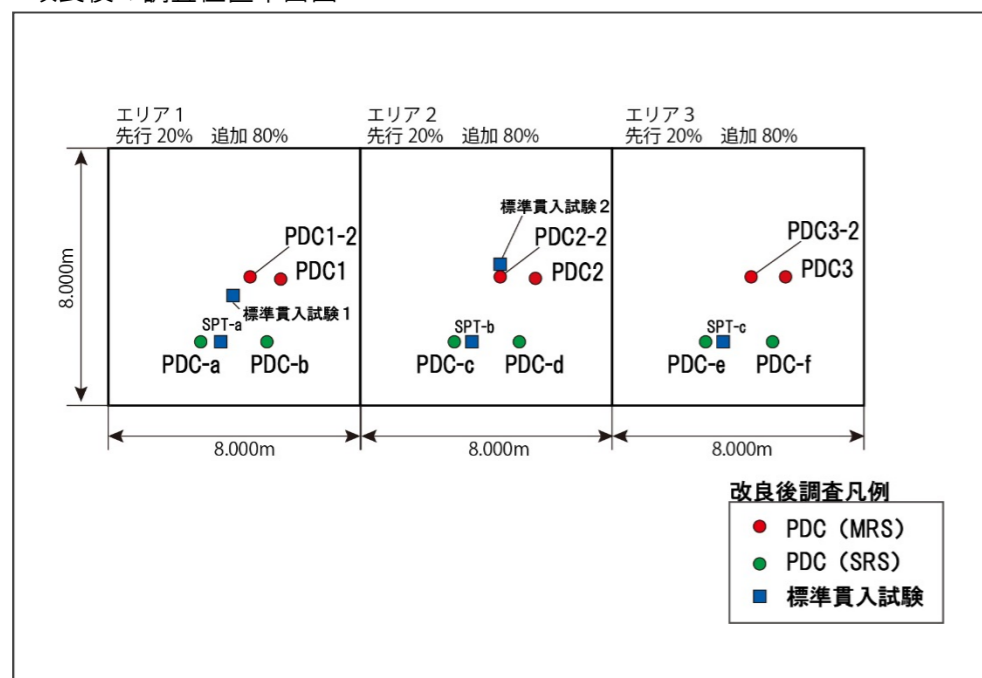
- ・ 未改良地盤、改良地盤ともに、中型(MRS)と大型(SRS)試験装置の  $N_d$  値は、対象地盤そのものが持つばらつき範囲内でほぼ一致する。
- ・ 改良地盤が非常に硬い場合 ( $N_d$  値>30 程度以上)、中型(MRS)試験装置の  $N_d$  値は大型(SRS)試験装置や標準貫入試験と比べてやや過大となる傾向がみられる。
- ・ 薬液注入工法の対象となる砂質系地盤においては、動的コーン貫入試験の  $N_d$  値は標準貫入試験の N 値とよく対応する。

### 南袖サイトにおける中型試験機(MRS)と大型試験機(SRS)の比較

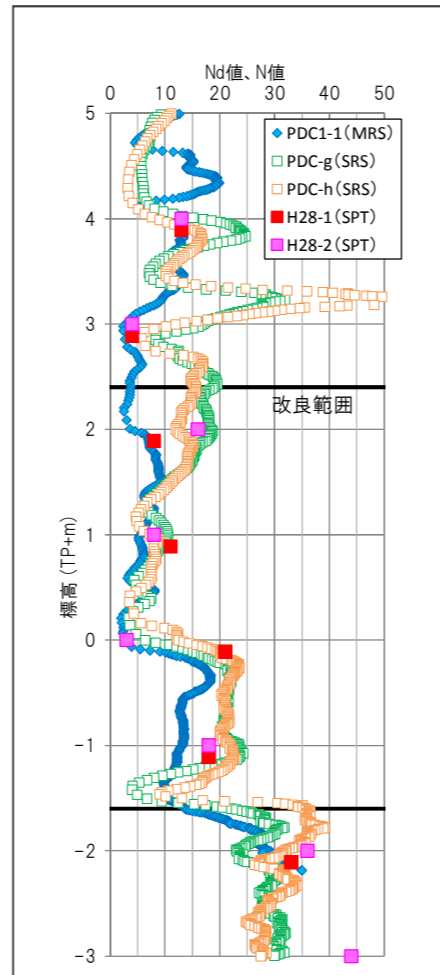
未改良地盤の調査位置平面図



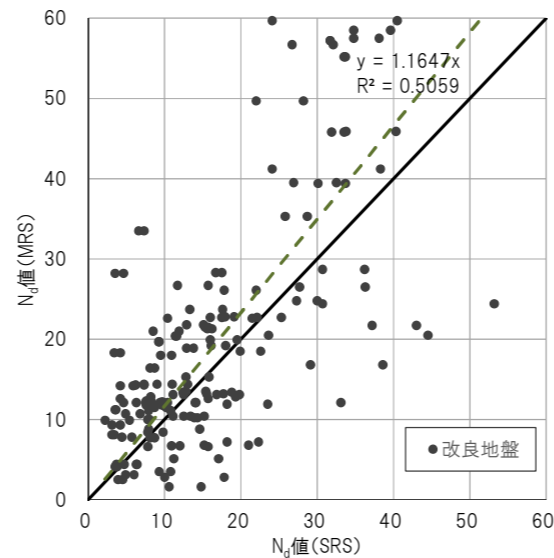
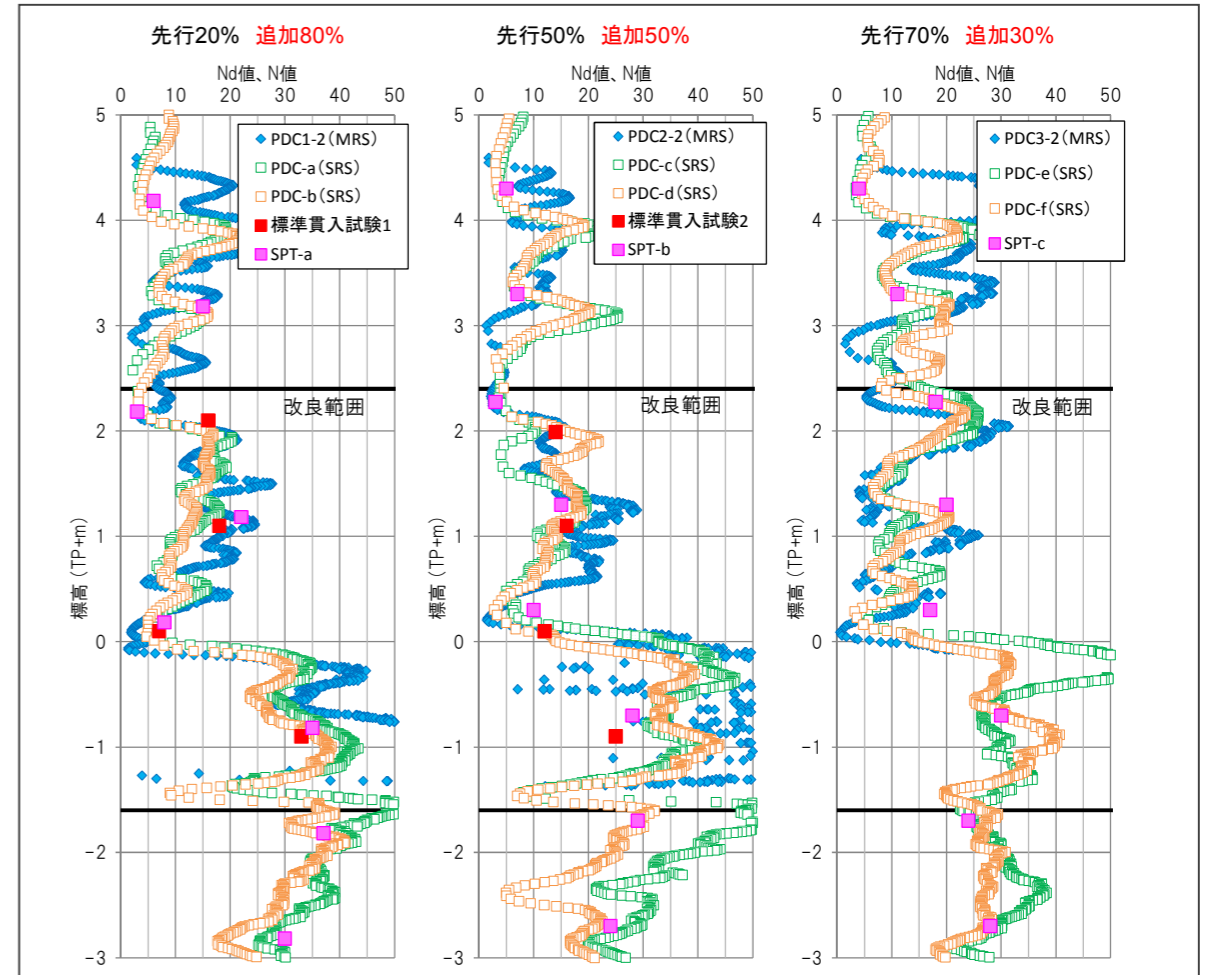
改良後の調査位置平面図



未改良地盤



改良後地盤

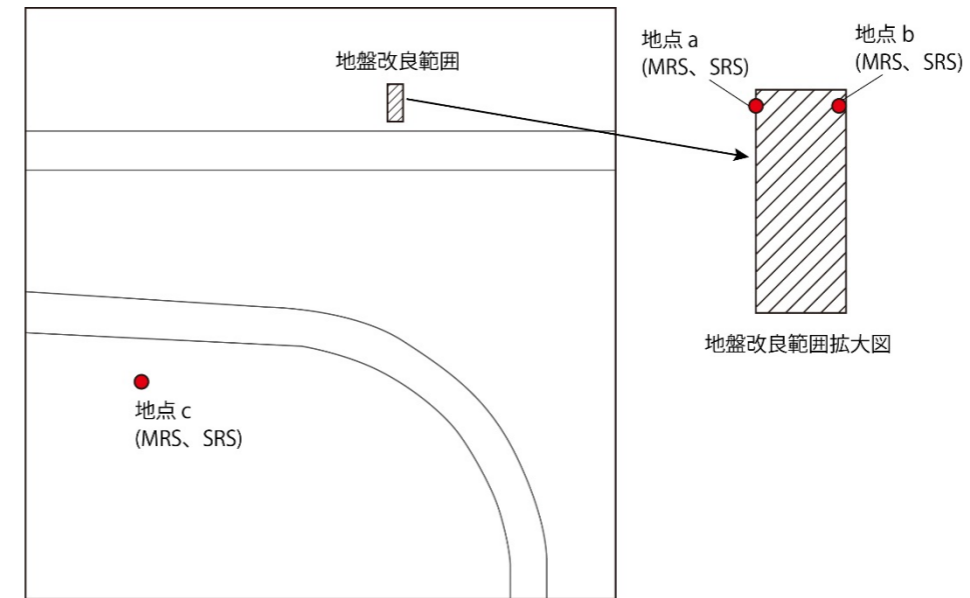
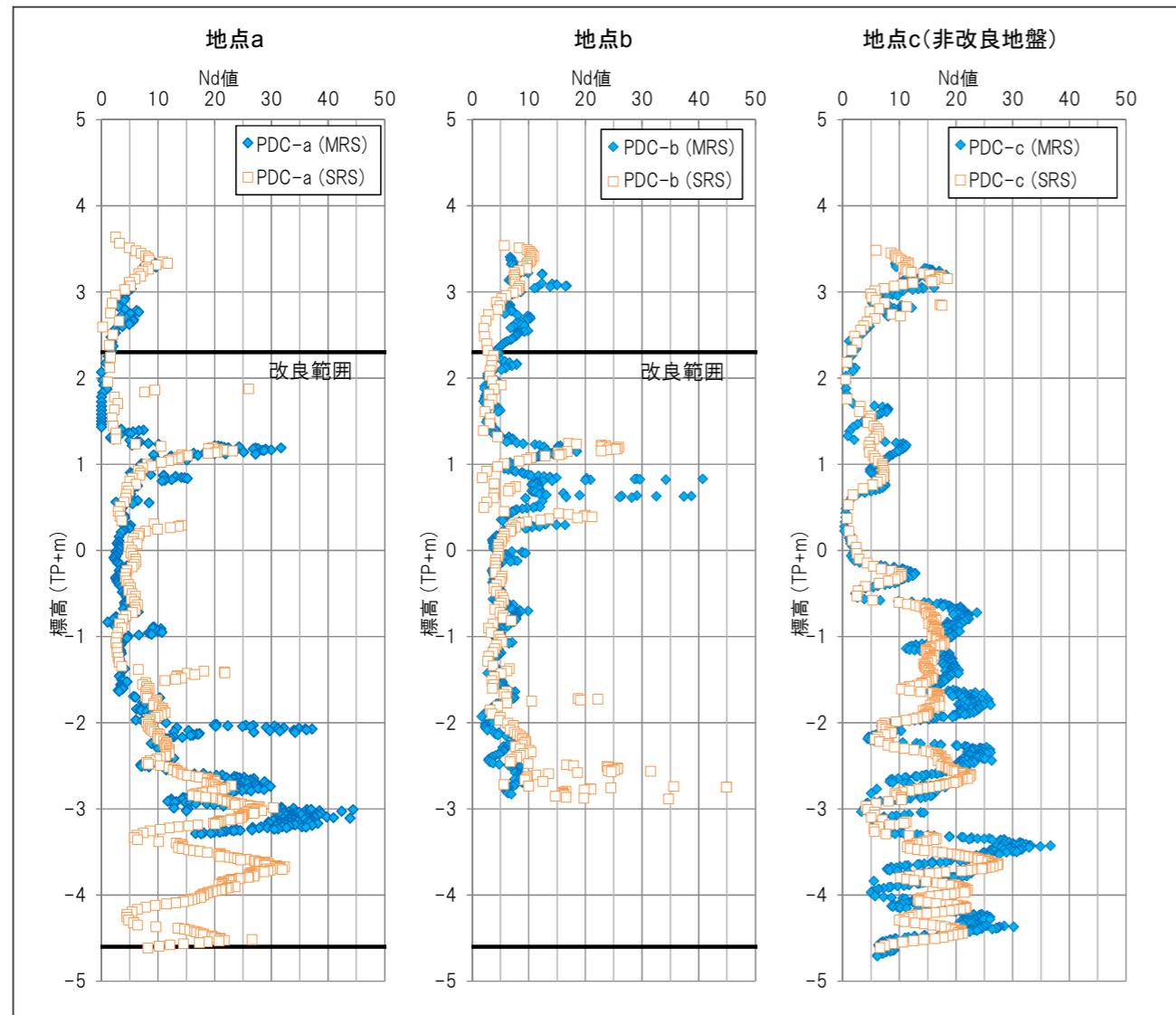


南袖サイトの改良地盤における  
中型(MRS)試験機と大型(SRS)試験機の  $N_d$  値の比較

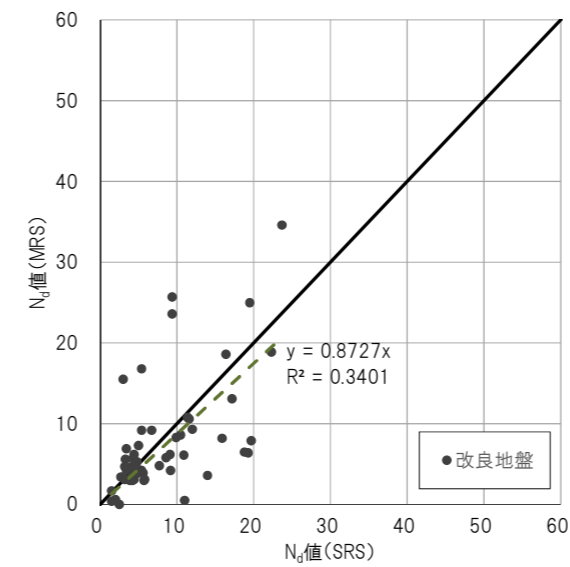
## その他現場における中型試験機(MRS)と大型試験機(SRS)の比較

### 現場 X

・南袖サイトと同様に、中型(MRS)と大型(SRS)試験装置の  $N_d$  値は、対象地盤そのものが持つばらつき範囲内でほぼ一致する。



現場 X の位置図



現場 X の改良地盤 (地点 a、地点 b) における  
中型(MRS)試験機と大型(SRS)試験機の  $N_d$  値の比較

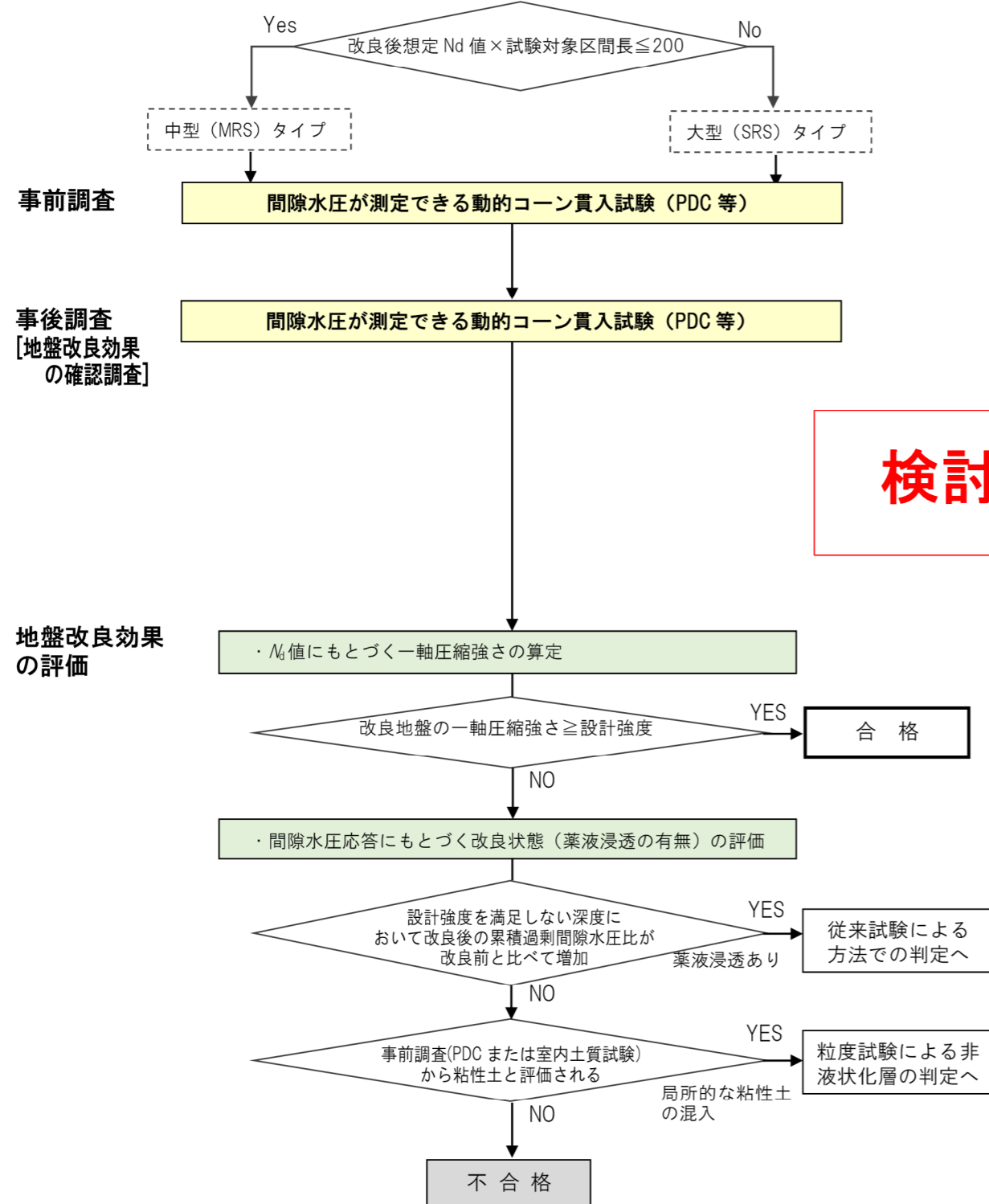
## 2. 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法について

### 2.1 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法（案）

薬液注入工法による地盤改良工事の改良効果は、改良前後に間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験（以下、動的コーン貫入試験という）を行い、 $N_d$  値の増加から算定される改良地盤の強度（推定一軸圧縮強さ  $q_u$ ）が設計強度以上であること、および間隙水圧応答から薬液改良地盤が深度方向に連続することを確認する方法を基本とする。ただし、動的コーン貫入試験だけでは改良効果の確認が難しい場合（目標強度が小さく  $N_d$  値の増加が明確でない場合等）には、従来試験（一軸圧縮試験、シリカ含有量試験等）を併用し、地盤強度を確認する。

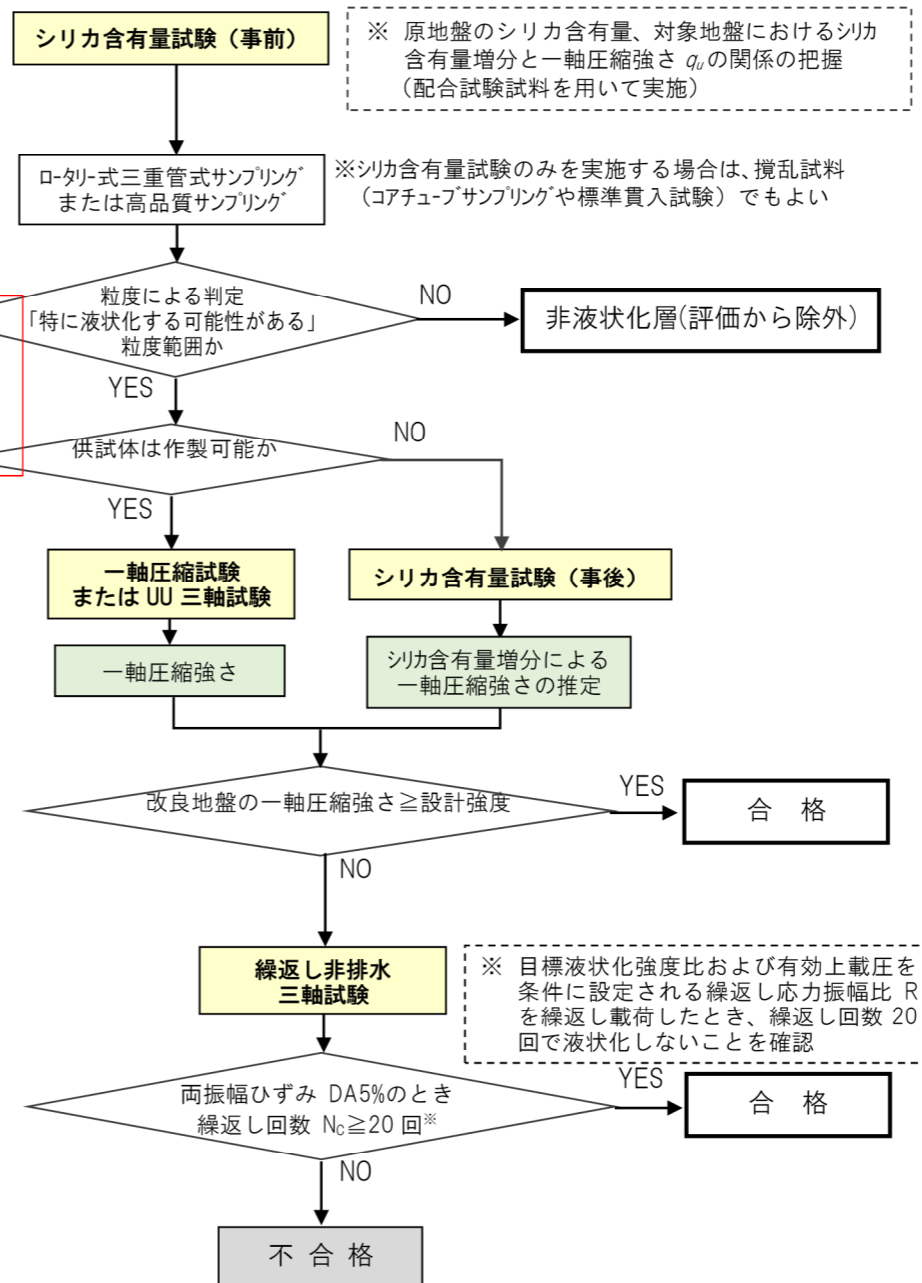
なお、動的コーン貫入時に礫当たりがある場合は、 $N_d$  値が大きく測定されるため、判定の際には留意する。

#### 【間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による判定】

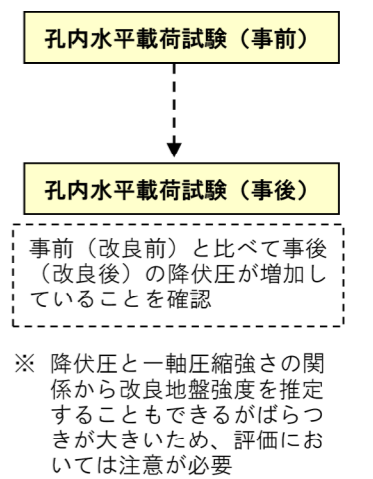


#### 【従来試験による判定】

検討中



#### 【その他の試験による判定】



**【 $N_d$  値にもとづく改良地盤の一軸圧縮強さ  $q_u$  の算定方法】**

動的コーン貫入試験により得た改良前後の  $N_d$  値から、以下の方法により改良地盤の一軸圧縮強さを算定する。

- 1) 事前調査結果より  $N_d$  値および細粒分含有率( $F_c$ )の深度方向 20cm 毎の平均値を算定する。
- 2) 事後調査結果より  $N_d$  値の深度方向 20cm 毎の平均値を算定する。
- 3) 改良前後の差分をとり、 $N_d$  値増分 ( $\Delta N_d$  値) を算定する。
- 4)  $N_d$  値増分 ( $\Delta N_d$  値) から次式により改良地盤の推定一軸圧縮強さ  $q_u$  を算定する。

$$q_u = f(F_c) \times \Delta N_d \quad \text{※細粒分含有率 } F_c \text{ は事前調査(改良前)の値を用いる}$$

**【係数  $f(F_c)$  の設定方法】**

- ◇ 実際の工事の対象となる  $q_u=100\text{kN/m}^2$  程度をきちんと評価できることを重視する観点から、  
 $f(F_c)$  の下限値は、 $f(F_c)=20$  ……珪砂 (細粒分含有率  $F_c=0\%$ ) の時の安全側の設定値  
 $f(F_c)$  の上限値は、 $f(F_c)=50$  ……山砂 (細粒分含有率  $F_c=25\%$ ) の時の安全側の設定値 とする。

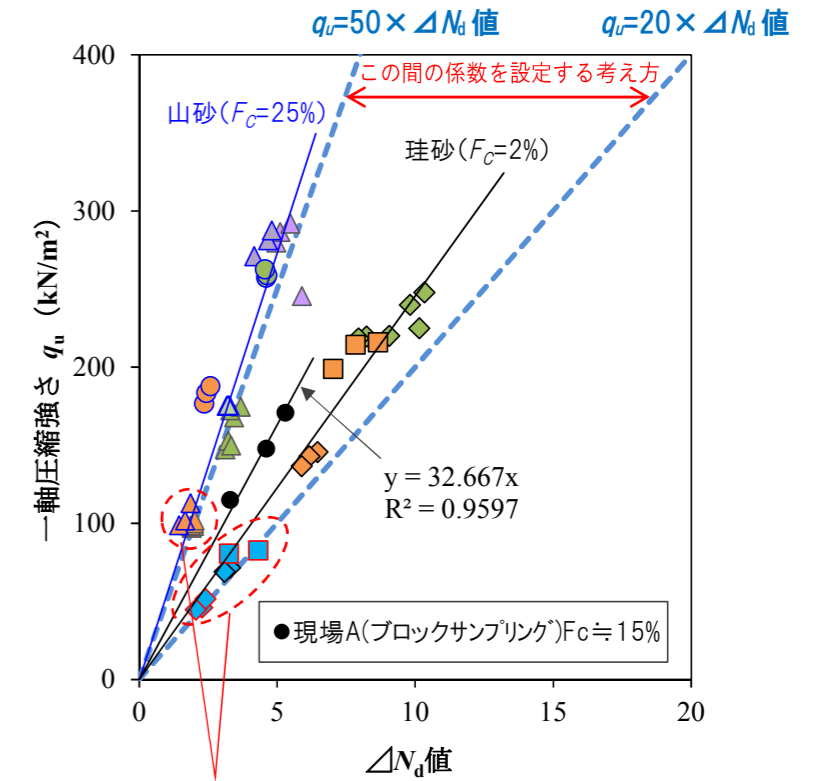
**提案式** 実験の範囲内 ( $F_c \leq 25\%$ ) で細粒分含有率に応じて按分により係数を設定する。  
 現場データ (南袖サイトにおけるブロックサンプリングの一軸圧縮強さ) を考慮

$$f(F_c) = (20 + (F_c \times 1.2)) \quad \text{適用範囲 } F_c < 25\% \\ F_c \geq 25\% \text{ のときは、} f(F_c) = 50 \text{ とする}$$

- 5) 算定した推定一軸圧縮強さ  $q_u \geq$  設計強度  $q_{uck}$  であることを確認する。

・ なお、中型 (MRS) 試験装置を使用した場合、硬質地盤の  $N_d$  値を過大に評価する可能性があるため、 $N_d$  値  $\geq 20$  のデータは  $N_d$  値=20 として評価する。

検討中

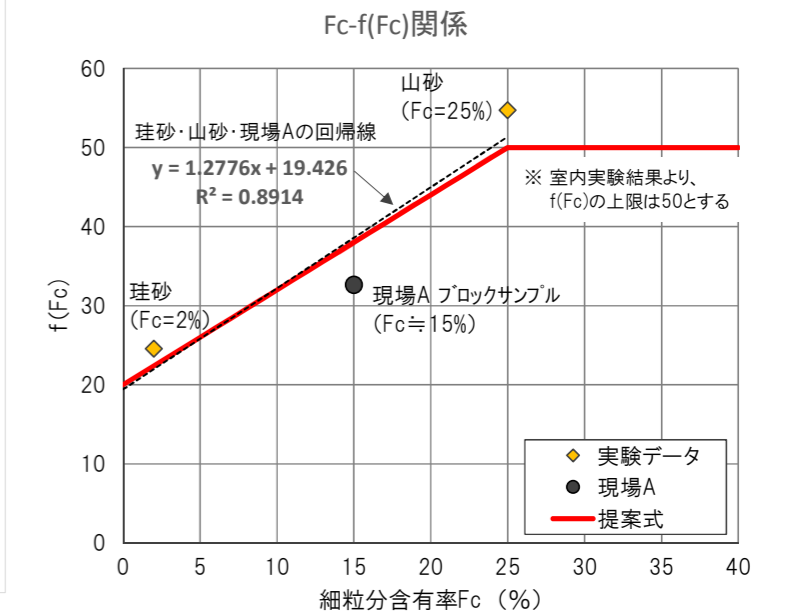


$q_u=100\text{kN/m}^2$  程度の評価を重視して  $f(F_c)$  の上限と下限を設定

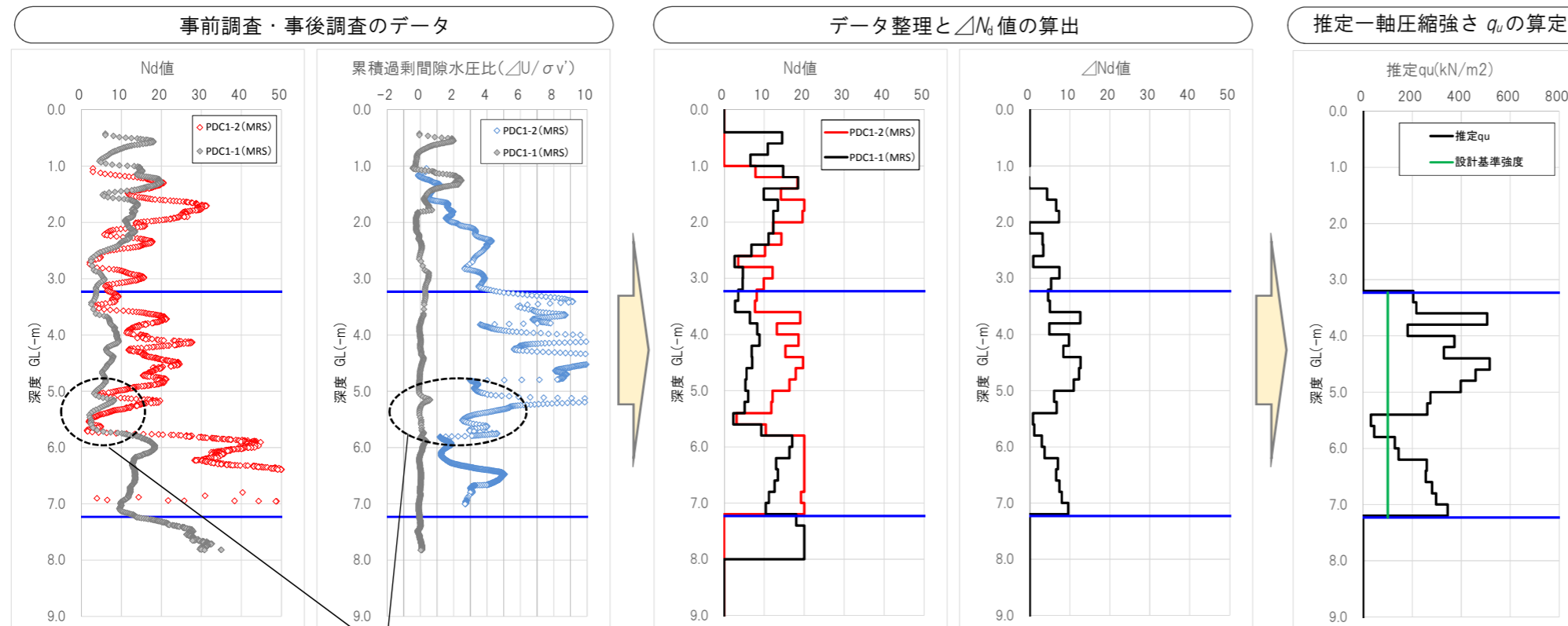
**一軸圧縮強さ  $q_u$  と  $\Delta N_d$  値の関係**

人工模型地盤実験の結果に、現場 A (南袖サイト  $F_c \approx 15\%$ ) で実施されたブロックサンプリングによる一軸圧縮試験データをあわせて示した。現場 A のデータは、 $\Delta N_d \sim q_u$  関係の実験から想定した関係の範囲内にあり、線形の相関を示す。

※ 現場 A (南袖サイト) における改良対象地盤の平均的な細粒分含有率  $F_c \approx 15\%$  により整理した。



**細粒分含有率  $F_c$  と係数  $f(F_c)$  の関係**



※  $N_d$  値の増加は不明確だが、累積過剰間隙水圧比の増加から薬液浸透の影響はありと評価される

**【間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）にもとづく改良状態（薬液浸透の有無）の判定方法】**

動的コーン貫入試験における貫入1打撃毎の間隙水圧時刻歴から、以下の方法により累積過剰間隙水圧比を算定し、地盤の間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）の変化から改良状態（薬液浸透の有無）を判定する。

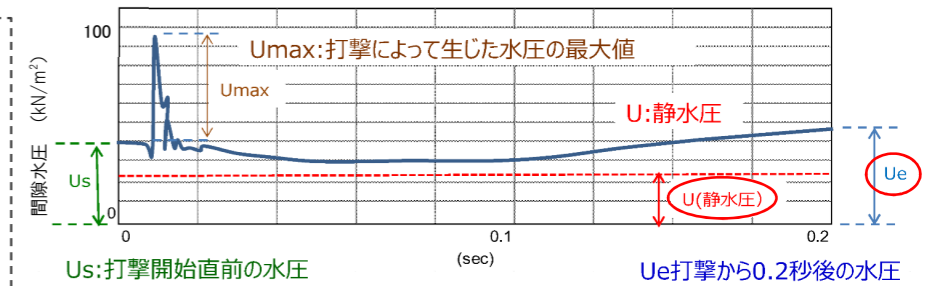
1) 動的コーン貫入試験の1打撃毎に、次式により累積過剰間隙水圧比を算出する。

$$\text{累積過剰間隙水圧比} = (U_e - U) / \sigma_v'$$

ここに、 $U_e$ ：打撃から0.2秒後の水圧、 $U$ ：静水圧、 $\sigma_v'$ ：土層の有効上載圧(kN/m<sup>2</sup>)

2) 改良区間の累積過剰間隙水圧比が、改良前と比べて増加していることにより、地盤に薬液が浸透しているか判定する。

- ・ 不飽和地盤では、間隙水圧を正確に計測できないため、調査時の地下水位からその影響を把握しておく必要がある。
- ・ 薬液が貝殻等の土中の物質と反応して二酸化炭素が発生することで地盤が不飽和状態となり、間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）に影響する可能性があるため、改良状態を判定する際は注意が必要である。



間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験の1打撃後0.2秒間の間隙水圧の計測データ例

**【改良効果の評価例】**

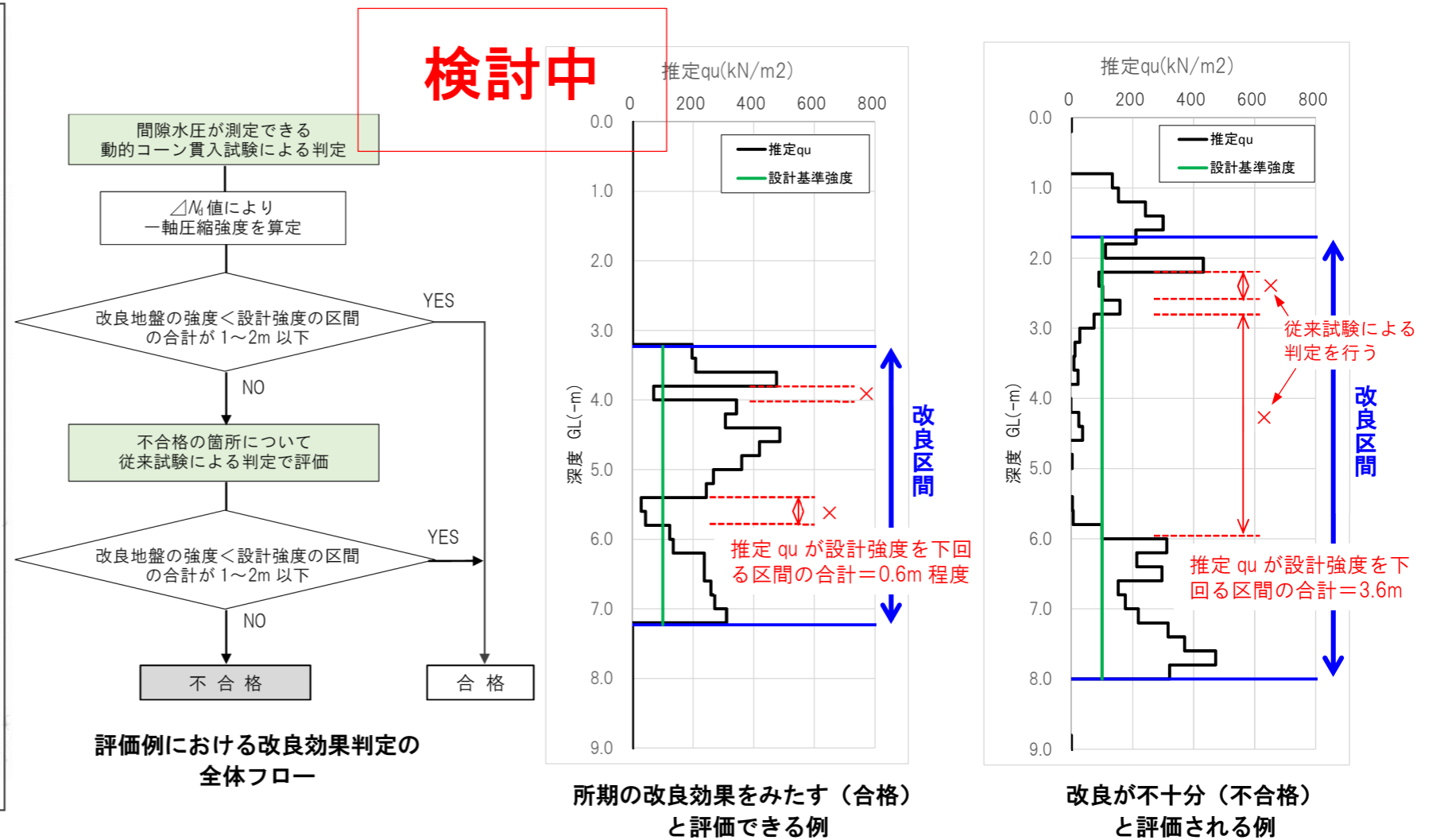
動的コーン貫入試験や一軸圧縮試験、シリカ含有量試験、繰返し三軸試験等の結果を踏まえ、対象工事の仕様もしくは構造物の要求性能にもとづき改良効果の判定を行う。

例えば、重力式護岸の背後地盤の液状化対策を目的とするのであれば、「地盤全体として液状化しない」地盤になっていると判断されるか否かにより、改良効果を判定する方法が考えられる。このとき、動的コーン貫入試験による判定方法であれば、推定一軸圧縮強さ  $q_u < \text{設計強度 } q_{uck}$ となる深度（区間）の合計が1~2m程度であれば、所期の改良効果をみたく（合格）と評価する。

c) 地盤全体の液状化の判定について

地盤全体としての液状化の判定を下すにあたっては、地震時の過去の被害事例などを参考とすることが望ましい。例えば、木造家屋などの小規模で軽量の構造物を対象とする場合であれば、「付録2 各種構造物に関する地盤改良範囲」における付図-2.1などが参考となる。これによる判定では、例えば、対象とする埋立地の地下水位が2mの深さにある場合には、地下水位以浅の層は特殊な場合を除いて液状化しない層であるものとみなすことができるので、もし最大加速度が200Galであれば、地下水位以深の地盤で液状化する層厚が2m以下の場合には、地盤全体としての液状化は発生しないものと判定される。

この様な判定にあたって特に重要な点は、液状化によって発生する被害の原因とその形態を十分に理解しておかなければならないことである。例えば、水深10m程度の大型重力式護岸の背後の地盤の液状化の検討において、ほぼすべての土層では液状化しないと判定されるが、1m間隔の深度で得られたN値のうち1ないし2点の深度において液状化すると判定される結果となった場合においては、地盤全体として液状化しないと判定してもよいであろう。これに対して、重力式護岸の直下の地盤のように、その構造物の安定に支配的な影響を与える部分で液状化の恐れがある場合などでは、その液状化層厚が1mであったとしても、液状化による構造物の安定性について、特に慎重な検討が必要である。このような点について、第6章で述べる耐震性能照査を行うなど、あるいは、第5章の液状化対策範囲の考え方が参考となる。



「埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)」(財)沿岸開発技術研究センター、平成9年8月、p124

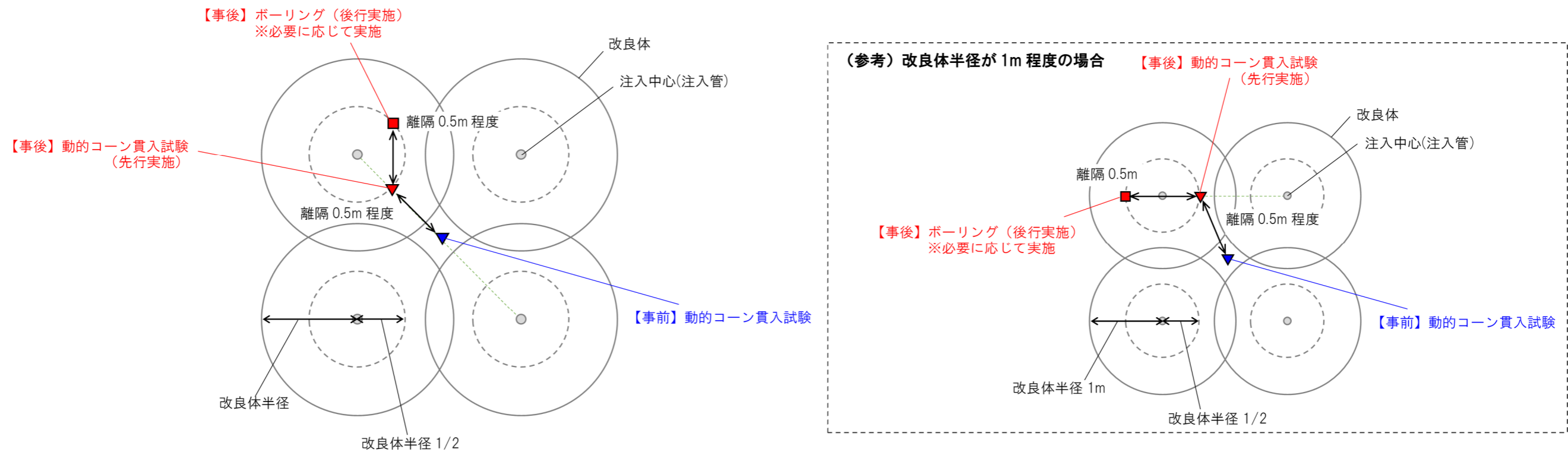
## 2.2 地盤改良効果を確認するための調査数量および調査位置の考え方

### 【地盤改良効果を確認するための調査数量の考え方】

- ・ 動的コーン貫入試験による改良効果の確認は、改良前後の比較が必要であるため、実施箇所それぞれにおいて事前調査と事後(効果確認)調査を実施することを基本とする。
- ・ 地盤改良効果を確認するための調査の実施箇所数は、改良対象土量 5,000m<sup>3</sup> 未満は 3 箇所程度、5,000m<sup>3</sup> 以上は 2,500m<sup>3</sup> 増えるごとに 1 箇所追加する程度を目安とする。

### 【地盤改良効果を確認するための調査位置の考え方】

- ・ 改良前の動的コーン貫入試験の調査位置は、薬液注入時にリーク等の施工障害の原因にならないよう、注入中心(注入管)から離れた位置とする。
- ・ 改良後の動的コーン貫入試験の調査位置は、改良前の地盤調査直近の改良体において、改良体半径の 1/2 の位置を基本とする。
- ・ 改良前後の動的コーン貫入試験の調査位置の離隔は、試験結果への影響を避けるため、0.5m 程度とする。
- ・ ボーリングを実施する場合の位置は、動的コーン貫入試験の実施位置から 0.5m 程度とする（動的コーン貫入試験を先行実施した後、ボーリングを実施）。



改良体の平面配置と事前・事後(効果確認)調査の実施位置の一例

## 2.3 適用上の留意点

### (1) 試験装置と $N_d$ 値の補正

#### 【試験装置の選定】

対象地盤の土質および改良仕様（改良深度、設計強度）にもとづき、以下に示す1) および2) を考慮して、必要とされる貫入能力を持つ試験装置を選定する。

#### 1) 試験対象区間長・・・動的コーン貫入試験を実施する深度

- 試験対象区間長が10m以上の場合、中型（MRS）試験装置ではロッドの撓みや周面摩擦の影響により打撃エネルギーが減衰するため  $N_d$  値の誤差が大きくなるとされている。この場合、打撃エネルギーが大きい大型（SRS）試験装置を用いる。
- 地表から改良対象層までの非改良区間が長い場合や地表付近に舗装や砕石等の硬質層が存在する場合は、ボーリングにより改良対象層上面までを先行削孔して試験を行うこともできる。

#### 2) 改良後地盤の想定 $N_d$ 値

- 改良後地盤の  $N_d$  値は、薬液改良による強度増加を考慮して次式により推定する。

**改良後想定  $N_d$  値 = 改良対象層の平均  $N$  値 + 推定  $\Delta N_d$  値**

推定  $\Delta N_d$  値：細粒分含有率  $F_c$  と設計強度に基づき次式により設定

$$\text{推定 } \Delta N_d \text{ 値} = (q_{\text{uck}} \times \eta / \kappa) / f(F_c) \quad \text{ただし、} f(F_c) \text{ は細粒分含有率 } F_c \text{ にもとづき設定する}$$

ここに、 $q_{\text{uck}}$ ：設計強度、 $\eta$ ：現場割増係数（通常 1.2）、強度発現率（通常 0.6）

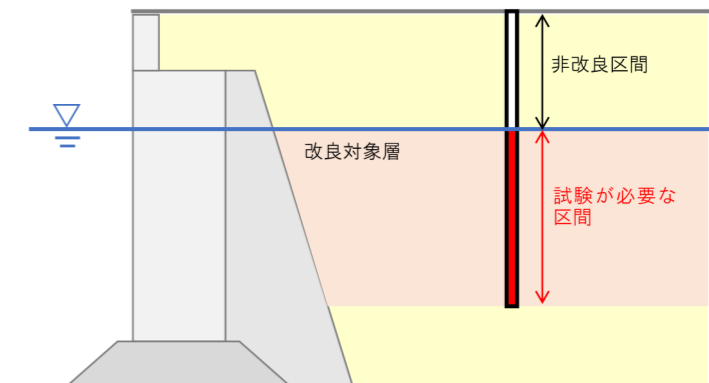
#### 1)、2) にもとづき、次式を目安に使用する試験装置を選定する。

**改良後想定  $N_d$  値 × 試験対象区間長 ≤ 200** の場合、中型（MRS）試験装置を選定

ただし、改良後想定  $N_d$  値が 30 以上の場合は、改良後想定  $N_d$  値 × 試験対象区間長 ≤ 200 であっても、貫入力不足により試験結果に影響が生じる可能性があるため、大型（SRS）試験装置を使用することを推奨する。

（「ピエゾドライブコーンの手引き」PDC コンソーシアム，平成 26 年 12 月）

通常は地表面から改良対象層下端まで試験を実施するが、非改良区間を先行削孔することで必要区間だけ試験を実施することができる



試験対象区間長のイメージ

#### 【 $N_d$ 値の算出方法】

動的コーン貫入試験装置は、地盤工学会が制定した基準「新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 JIS 1437-2014」（公社）地盤工学会，平成 28 年 2 月 以下、JGS 基準とする）に適合した中型および大型試験装置によることを基本とし、間隙水圧が測定できる機構を有するものを使用する。

- JGS 基準では、大型試験機（SRS）の単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーを基準とし、動的コーン貫入試験の周面摩擦とエネルギーにより補正することで、各試験装置の結果は相互に比較できるとされている。したがって、ここでは JGS 基準に従い次式により算出した  $N_d$  値を用いることを基本とする。

**大型（SRS）： $N_d = N_{dm} - 0.040M_v$**

**中型（MRS）： $N_d = 0.5(N_{dm} - \beta)M_v$  [  $\beta$  経験値：0.320、理論値：0.139 ]**

ここに、 $N_{dm}$  = 打撃回数（20cm 貫入あたり）、 $M_v$  = トルク（N・m）

$\beta$  = 周面摩擦補正係数

※ なお、中型試験装置の  $\beta$  は理論値としては 0.139 であるが、これまでの大型試験装置の結果との整合性から一般には 0.320 が用いられることが多い。

（「新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 JIS 1437-2014」（公社）地盤工学会，平成 28 年 2 月を一部修正）

- 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験方法であるピエゾドライブコーン（PDC）のように、1 回の打撃毎に貫入量（ $d$ ）が記録される試験装置では、次式により 1 打撃毎に換算した  $N_d$  値を求める。

**大型（SRS）： $N_d = \frac{20}{d} - 0.040M_v$**

**中型（MRS）： $N_d = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{20}{d} - \beta M_v \right) = \frac{10}{d} - \frac{\beta}{2} M_v$  [  $\beta$  経験値：0.320、理論値：0.139 ]**

（「ピエゾドライブコーンの手引き」PDC コンソーシアム，平成 26 年 12 月）

- 上記以外の補正方法を用いる場合は、その結果の整合性について示すこと。

#### JGS 基準による中型及び大型動的コーン貫入試験装置の寸法と質量

「新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 JIS 1437-2014」（公社）地盤工学会，平成 28 年 2 月

動的コーン貫入試験装置	記号	単位	中型	大型
打撃装置				
ハンマー質量	$m$	kg	30.0 ± 0.3	63.5 ± 0.5
落下高	$h$	mm	350 ± 10	500 ± 10
最大総質量 <sup>a)</sup>		kg	70	115
アンビル				
直径 <sup>b)</sup>	$d$	mm	50 < $d$ < $D_h$	50 < $d$ < 0.5 $D_h$
最大質量 <sup>c)</sup>	$m$	kg	18	18
コーン				
公称断面積	$A$	mm <sup>2</sup>	1 052	1 590
底部直径	$D$	mm	36.6 ± 2.0	45.0 ± 2.0
マントル長さ	$L$	mm	69.0 ± 3.0	90.0 ± 2.0
コーン先端長さ	$L_c$	mm	18.3 ± 2.0	22.5 ± 2.0
ロッド				
最大質量	$m$	kg/m	5.0	6.7
外径	$d_r$	mm	28.0 ± 0.4	32.0 ± 0.4
ロッド偏心差		%	0.1	0.1

注<sup>a)</sup> 打撃終了後にロッドに作用する質量

注<sup>b)</sup>  $D_h$  はハンマー外径

注<sup>c)</sup> ハンマーガイドを含む最大質量

## (2) 動的コーン貫入試験だけでは改良効果の確認が難しい場合の留意点

以下のように、改良後の  $N_0$  値の増分が小さく、動的コーン貫入試験により改良効果を確認するのが難しい場合は、必要に応じて一軸圧縮試験、シリカ含有量試験、繰返し非排水三軸試験等を併用して改良効果を確認する。

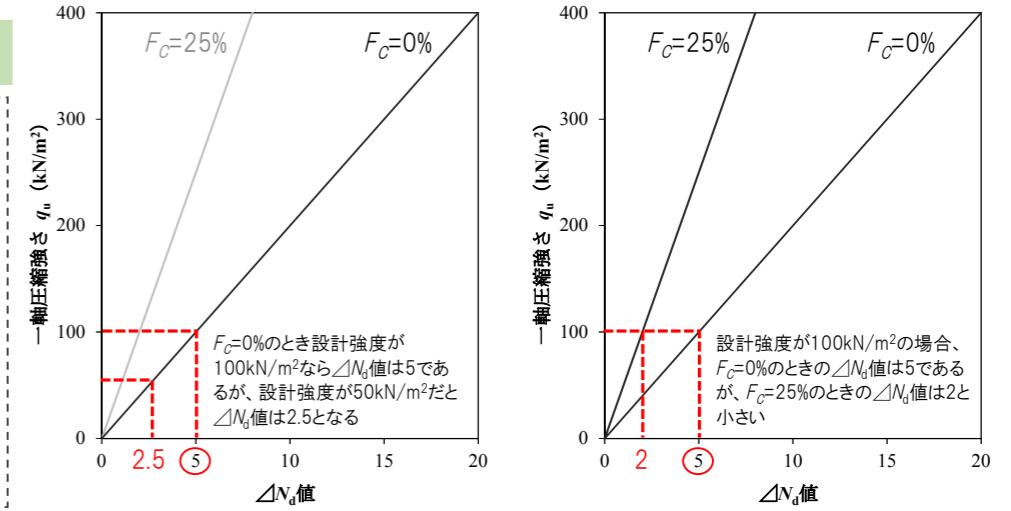
このとき、改良状態（薬液浸透の有無）は、間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）の変化から判定する（p11 参照）。

### ① 目標強度が小さい場合

- 例えば、目標強度が  $50\text{kN/m}^2$  の場合、想定される  $N_0$  値の増分は 1~3 程度と想定され、埋立地等のように原地盤のばらつきが大きい不均一地盤では、改良前後の  $N_0$  値増加を明確に確認できない可能性がある。

### ② 対象地盤の細粒分含有率が高い場合

- 細粒分を含む地盤では、薬液により改良された地盤の一軸圧縮強さ  $q_u$  に対して  $N_0$  値の増加が小さい。



$N_0$  値の増分が小さいケースの例

## (3) 既往の確認方法を併用する場合の留意点

### 【シリカ含有量試験】

シリカ含有量試験による方法は、改良前後のシリカ含有量の増分から一軸圧縮強さ  $q_u$  を推定し改良効果を確認するもので、試料の乱れの有無に関係なく、少量の試料で実施できるため、乱れの少ない試料の採取が困難な場合も適用しやすい。

#### 【事前調査】

- 適用に当たっては、予め対象地盤におけるシリカ含有量増分と一軸圧縮強さ  $q_u$  の相関を把握しておく必要がある。一般に、施工前に行う配合試験において一軸圧縮試験とあわせてシリカ含有量試験を行うことで両者の相関を整理する。
- 改良前後のシリカ含有量の増分をとるために、改良前の事前調査で原地盤のシリカ含有量を計測しておく必要がある。このとき、埋立地等のような不均一地盤では、原地盤のシリカ含有量のばらつきが非常に大きいため、複数の試料を使って試験することが望ましい。ばらつきが顕著な場合、改良によるシリカ含有量増分を正確に把握できないことがあるので適用性についても予め十分に検討する。

#### 【試料採取方法】

- 事前調査における原地盤の試料は、配合試験用に採取する試料の一部を用いることができる。
- 事後(効果確認)調査で力学試験を実施しない場合、サンプリング方法はコアチューブや標準貫入試験による攪乱試料を用いてもよい。

#### 【試験方法】

- 試験方法には、原子吸光法と ICP 発光分光分析法があるが、事前調査と事後(効果確認)調査は同一の方法で試験を行わなければならない。

参考：「浸透固化処理工法研究会が技術マニュアル（2010 年版）」（財）沿岸技術研究センター，平成 22 年 6 月  
「浸透固化処理工法技術マニュアル(2010 年版)の追補について」浸透固化処理工法研究会，平成 28 年 11 月

### 【原子吸光法の概要】

#### ◇分析原理

試料をフレーム中に噴霧して加熱して原子化する。そこに測定対象の元素固有の波長の光を透過させると光は原子に吸収される。この吸収される割合を測定して、元素の定量分析を行う装置である。

#### ◇特徴

- 感度：ppb~ppm
- 測定レンジ幅：2 桁程度
- 測定時間：短い
- 各種の測定干渉に強いため、共存物質が多い試料中の分析に向いている



分析装置の例：フレーム原子吸光分析装置

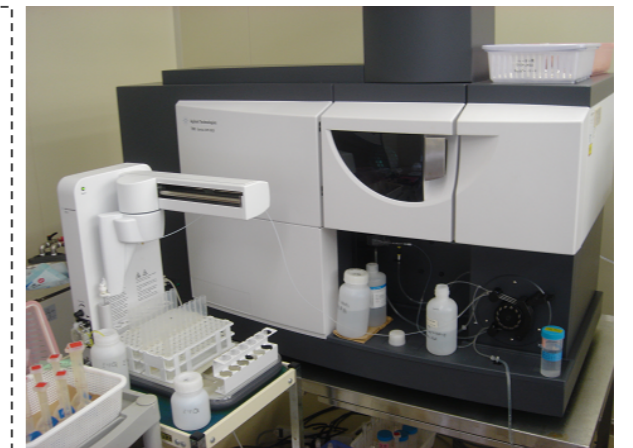
### 【ICP 発光分光分析法の概要】

#### ◇分析原理

試料を高温のプラズマ内に噴霧して原子を励起状態にする。励起した原子から発生する元素固有の波長の光を分光測定して、元素の定量分析を行う装置である。

#### ◇特徴

- 感度：ppb~%
- 測定時間：非常に短い
- 多元素同時定量が可能で測定レンジ幅が広く測定時間も短いため、高効率な分析が可能となる。
- 但し、分光干渉、物理干渉に弱いため高度な測定技術を要する



分析装置の例：ICP 発光分光分析装置



**【一軸圧縮試験または UU 三軸試験】**

乱れの少ない試料を採取し、供試体の作製が可能な場合は、一軸圧縮試験により強度を直接計測する。礫等が混入する場合は、拘束圧をかけることにより乱れの影響を低減して試験することができる非圧密非排水（UU）三軸圧縮試験により推定一軸圧縮強さを確認する方法が有効な場合もある。

**【試験数量】**

- ・ 1箇所につき、改良層厚全体に対して上、中、下それぞれの深度で3供試体、計9供試体程度を目安に試験を実施する。

**【試料採取方法】**

- ・ 試験に用いる試料は乱れの少ない試料とし、ロータリー式三重管サンプラー（φ116mm）で採取することを標準とする。
- ・ 対象地盤は礫やがれきが混入する不均一地盤を想定しており、改良土は一軸圧縮強さが50~100kN/m<sup>2</sup>程度のため、サンプリングの良否により乱れの影響を受けやすい。このため、必要に応じて高品質サンプリングを用いることも検討する。

**【試料の保管、供試体作製時の留意点】**

- ・ 密閉処理し、乾燥を防ぐ。また、改良土は凍結されると著しく強度が低下するため、凍結保存はしない。
- ・ 開封の際、押し出し装置は使用せず、電動ノコギリ等によりサンプラーを半割りにして開封する。
- ・ 採取試料をよく観察し、乱れの少ない部分を選定する。
- ・ 乱れの影響を受ける周辺部を除去し供試体を整形する。
- ・ 混入する礫の大きさによっては整形中にさらに乱れを生じることがあるため、試料の状態に応じて、φ75mmの試料をそのまま供試体とする場合もある。
- ・ 供試体の載荷面に凹凸ができる場合は、載荷面を石膏によりキャッピングして平坦化する。

**【UU 三軸圧縮試験を行う場合の試験条件】**

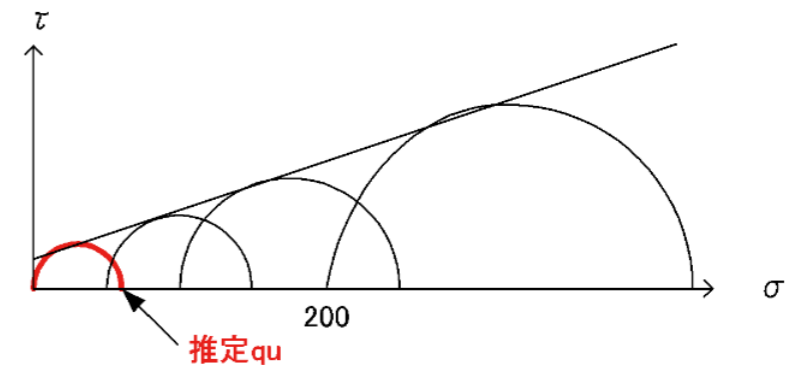
- ・ 原則として、1深度につき2ないし3供試体について異なる側方向応力条件で試験を行う。このうち1供試体は側方向応力条件を0kN/m<sup>2</sup>とする。
- ・ 側方向応力は、現場の有効土被り圧等を考慮してほぼ等間隔となるように設定する。
- ・ 供試体毎の試験結果から応力のモール円を同一の座標上に描き、破壊包絡線を引いたときの推定一軸圧縮強さを求める。

参考：「浸透固化処理工法研究会が技術マニュアル（2010年版）」（財）沿岸技術研究センター，平成22年6月

「埋立地の地盤改良に関する検討報告書＜確実な施工と品質確保＞」（一財）日本埋立浚渫協会 技術委員会 埋立地の地盤改良に関するWG，平成28年9月



供試体の載荷面のキャッピングの例



非圧密非排水（UU）三軸圧縮試験による一軸圧縮強さの推定例

「埋立地の地盤改良に関する検討報告書＜確実な施工と品質確保＞」  
（一財）日本埋立浚渫協会 技術委員会 埋立地の地盤改良に関するWG，平成28年9月，p10

**【繰返し非排水三軸試験】**

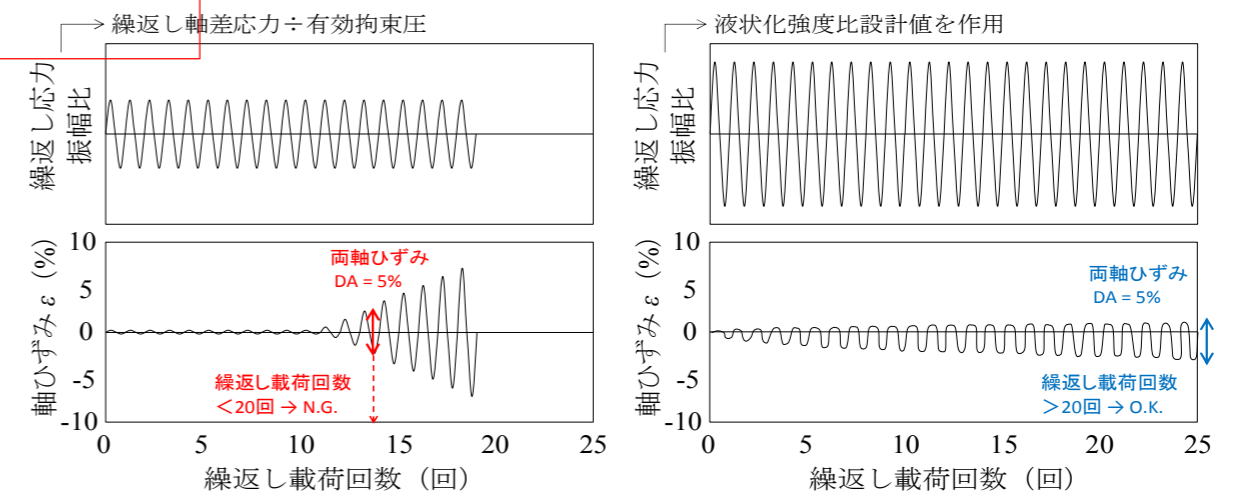
一軸圧縮強さでは改良効果を判定できない場合は、繰返し非排水三軸試験を行い、改良土が液状化しないことを確認する。

- ・ 試験方法は「土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541-2009）」によらず、以下の方法で評価する。  
 ◇ 目標液状化強度比および有効上載圧を条件に設定される繰返し応力振幅比Rを繰返し載荷したとき、繰返し回数20回でも液状化しないことを確認する。
- ・ 確認が必要な深度につき、1供試体以上の試験を行う。
- ・ 試験条件となる応力振幅比が大きく、繰返し非排水三軸試験では引っ張り破壊を生じると考えられる場合は、試験方法としてねじりせん断試験が有効な場合がある。ただし、ねじりせん断試験は供試体の作製や試験条件の設定等に課題があるとされていることから、これらを十分に検討した上で適用する必要がある。

参考：「浸透固化処理工法研究会が技術マニュアル（2010年版）」（財）沿岸技術研究センター，平成22年6月

「地盤材料試験の方法と解説」（公社）地盤工学会，平成21年11月

**検討中**



【未改良土】

【薬液改良土】

未改良土と薬液改良土の繰返し非排水三軸試験のイメージ

# 「埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討」第4回委員会における検討のまとめ（案）

## 1. $N_0$ 値および間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と地盤改良効果の関係について

課題	検討内容	検討の結果のまとめ
(1) $N_0$ 値と薬液により改良された地盤の一軸圧縮強さ $q_u$ の関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>密度状態に応じた一軸圧縮強さ <math>q_u</math> をシリカ濃度ごとに詳細に把握することで、<math>N_0</math> 値と一軸圧縮強さ <math>q_u</math> の関係を明らかにした。</li> <li><math>N_0</math> 値そのもの、土被り補正した等価 <math>N_0</math> 値、およびそれらの改良前後の増分に (<math>\Delta N_0</math> 値、<math>\Delta</math> 等価 <math>N_0</math> 値) について、一軸圧縮強さ <math>q_u</math> との関係を整理し、薬液改良による強度増加を評価する上で最適な方法を検討した。</li> <li>細粒分含有率が異なる2種類の地盤材料を用いた実験結果から、細粒分含有率が薬液改良土の <math>N_0</math> 値に与える影響を検討した。</li> <li><math>q_u=100\text{kN/m}^2</math> 程度の地盤の <math>N_0</math> 値データを取得し、検討に反映させた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同じシリカ濃度であれば、密度状態と <math>N_0</math> 値および一軸圧縮強さ <math>q_u</math> の間には明確な相関がある。</li> <li>一軸圧縮強さ <math>q_u</math> は土の種類(珪砂 <math>F_c=2\%</math> と山砂 <math>F_c=25\%</math>)毎に、<math>\Delta N_0</math> 値 (<math>N_0</math> 値の増分) と高い相関がある。</li> <li>細粒分を含む土では、土被り補正による補正 (等価 <math>N_0</math> 値) は適さない。</li> <li>同じ一軸圧縮強さ <math>q_u</math> に対する <math>\Delta N_0</math> 値 (<math>N_0</math> 値の増分) は、珪砂 &gt; 山砂であり、<math>q_u \sim \Delta N_0</math> 値関係は細粒分含有率に依存すると考えられる。</li> <li>対象とする強度が小さくても <math>N_0</math> 値と一軸圧縮強さ <math>q_u</math> の関係は変わらない。</li> </ul>
(2) 間隙水圧応答（累積過剰間隙水圧比）と改良効果の関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>現地実験データを用いて、間隙水圧応答と地盤強度 (<math>N_0</math> 値) の関係を考察した。</li> <li>不飽和地盤では間隙水圧応答を正確に計測できないため、結果の整理における留意点とした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>薬液改良地盤の間隙水圧応答(累積過剰間隙水圧比)は、未改良地盤と異なり、薬液の地盤への浸透を評価する指標となる。</li> <li>累積過剰間隙水圧比と改良地盤の強度をあらわす <math>\Delta N_0</math> 値 (<math>N_0</math> 値の増分) には明確な相関はないことから、間隙水圧応答から強度の定量的評価は難しい。</li> <li>薬液改良地盤の飽和度が低下したことを示す例があることから、間隙水圧応答をみる際の留意事項とする。</li> </ul>
(3) 試験装置の違いによる計測値への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一サイトで行った中型試験機(MRS)と大型試験機(SRS)の計測値を比較し、適用性を検討した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周面摩擦と打撃エネルギーにより補正することで、中型試験機(MRS)と大型試験機(SRS)の計測値は相互に比較できる。</li> </ul>

## 2. 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法について

(1) 間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験による地盤改良効果の確認方法(案)	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験結果にもとづき <math>N_0</math> 値から一軸圧縮強さ <math>q_u</math> を算定する方法を検討し、実地盤データを用いて検証を行った。</li> <li><math>N_0</math> 値は深度方向 20cm 毎に整理することを基本とし、算定された結果にもとづく改良効果の評価方法について検討した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>N_0</math> 値と一軸圧縮強さ <math>q_u</math> の関係にもとづき、改良前後の <math>\Delta N_0</math> 値 (<math>N_0</math> 値の増分) から一軸圧縮強さ <math>q_u</math> を算定する。</li> <li><math>\Delta N_0</math> 値 (<math>N_0</math> 値の増分) による評価は、実地盤データと整合的な結果となる。</li> <li><math>N_0</math> 値は深度方向 20cm 毎に整理することを基本とする。ただし、改良効果の評価は改良仕様や要求性能に応じて適切な方法で判定する。</li> </ul>
(2) 地盤改良効果を確認するための調査数量および調査位置の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤改良後の調査への影響、および薬液注入時にリーク等の施工障害の原因にならないよう、標準的な試験の実施順序や位置について検討した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良前の動的コーン貫入試験の調査位置は、薬液注入時にリーク等の施工障害の原因にならないよう、注入中心(注入管)から離れた位置とする。</li> <li>改良後の動的コーン貫入試験の調査位置は、改良前の地盤調査直近の改良体において、改良体半径の 1/2 の位置を基本とする。</li> <li>改良前後の動的コーン貫入試験の調査位置の離隔は、試験結果への影響を避けるため、0.5m 程度とする。</li> <li>ボーリングを実施する場合の位置は、動的コーン貫入試験の実施位置から 0.5m 程度とする (動的コーン貫入試験を先行実施した後、ボーリングを実施)。</li> <li>改良対象土量 5,000<math>\text{m}^3</math> 未満は、3 箇所程度、5,000<math>\text{m}^3</math> 以上は 2,500<math>\text{m}^3</math> 増えるごとに 1 箇所追加する程度を目安とする。</li> </ul>
(3) 適用上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良対象地盤の土質および改良仕様に基づき、改良後に想定される <math>N_0</math> 値を考慮して試験装置を選定する方法を検討した。</li> <li>試験装置および <math>N_0</math> 値の標準的な算定方法を整理した。</li> <li>改良対象地盤の性状や設計強度が小さいことにより、動的コーン貫入試験の <math>N_0</math> 値のみでは改良効果の判定が難しい場合の対応について整理した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象地盤の土質および改良仕様にもとづき、改良後に想定される <math>N_0</math> 値を考慮して、必要とされる貫入能力を持つ試験装置を選定する。</li> <li><math>N_0</math> 値は JGS 基準に準拠して算出することを基本とする。</li> <li>動的コーン貫入試験だけでは地盤改良効果の確認が難しい場合(改良後の目標強度が小さい場合など)には、累積過剰間隙水圧比(<math>(U_e-U)/\sigma_v'</math>)により、薬液の浸透を確認した上で、従来試験 (一軸圧縮試験、シリカ含有量試験等) を併用し、地盤強度を確認する。</li> </ul>