

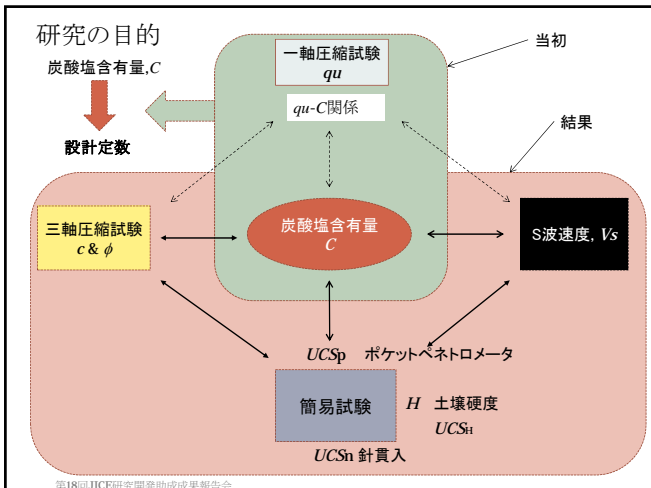


内容

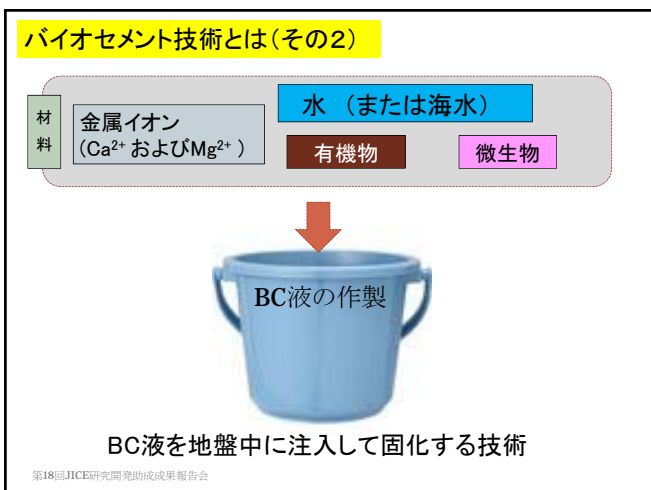
To see is to believe.

研究の目的
バイオセメントについて
簡易試験
三軸圧縮試験
一軸圧縮試験
繰返し非排水三軸試験
S波速度試験
結論

第18回JICE研究開発助成成果報告会



- ### バイオセメント技術とは(その1)
- #### 環境にやさしい
1. CO₂ガスを出さない。
 2. 自然界の炭酸塩続成作用の応用であるので、トータルライフコストが低い(炭酸塩鉱物がバイオセメント)。
- #### 便利な技術
1. 施工のやり直しが効く。
 2. 固化強度をある範囲で任意に設定できる。
- #### 特徴
1. 中性のpH領域で適用できる。
 2. 土の体積膨張を起こさない。
 3. 地盤の透水性を保つことができる。
- 欠点: 難透水性地盤に適用できない。
鉄錆の原因となる。
- 第18回JICE研究開発助成成果報告会



バイオセメント技術とは(その3)

使用する微生物 (NO-A10): 我が国の土壌から単離した安全な菌

● 化学反応

有機物の加水分解 (微生物の酵素を触媒として使用)

$$\rightarrow bCO_2 + dH_2O + eNH_3$$

重炭酸イオンの生成

$$\rightarrow H_2O + CO_2 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$$

炭酸イオンの生成

$$\rightarrow HCO_3^- \rightarrow H^+ + CO_3^{2-}$$

炭酸カルシウム > 方解石・霰石

$$\rightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-} = CaCO_3$$

ドロマイト (苦灰石)

$$\rightarrow CaCO_3 + Mg^{2+} + CO_3^{2-} = CaMg(CO_3)_2$$

ドロマイト生成初期段階を想定

特徴:
炭酸塩の生成は反応式に従うので、設計・予測が比較的容易にできる。

第18回JICE研究開発助成成果報告会

バイオセメント技術とは(その4)



速過ぎず、遅過ぎず、が重要
適切な成長速度を使用するために、
生物反応を使う技術
微生物濃度によって反応速度を管理

無機(急速)反応では結合力なし

第18回JICE研究開発助成成果報告会 BC液中におけるバイオマスおよび炭酸カルシウムの生成状況

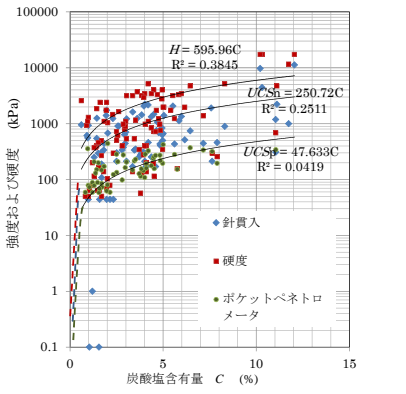
簡易試験(その1)



第18回JICE研究開発助成成果報告会

簡易試験(その2)

- 試験器の比較を示す。
- 炭酸塩と固化強度の関係について
 - ばらつきはあるが、強度と炭酸塩含有量は線形近似で表せる。
 - ばらつきは、6種類の砂質土の結果を含むことが主な原因
 - 試験器によって比例定数が異なる。

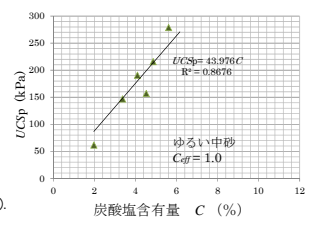


各種強度と炭酸塩含有量の関係

第18回JICE研究開発助成成果報告会

簡易試験(その3)

UCSp-C関係
 $UCSp = aC$ (通常)
 $UCSp = C_{eff} aC$ (ただし、過剰なCが存在する場合)
 UCS: P.PIによる推定一軸圧縮強さ(kPa).
 a: 有効炭酸塩による強度比例定数(kPa).
 C: 炭酸塩含有量(%).
 C_{eff}: 結合のない炭酸塩による強度低減比.

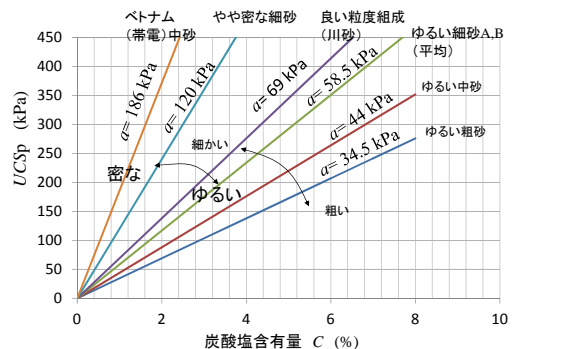


試料土のa値 (C_{eff} = 1.0)

| 分類名 | a (kPa) | 分類名 | a (kPa) |
|-------------------|---------|---------|---------|
| ゆるい中砂・帯電砂 (ベトナム砂) | 186 | ゆるい細砂B | 53.9 |
| ゆるい均等な粗砂 | 34.5 | やや密な細砂B | 120 |
| ゆるい細砂A | 64.4 | 組成の良い砂 | 68.7 |
| ゆるい中砂 | 44.0 | | |

第18回JICE研究開発助成成果報告会

簡易試験(その4)

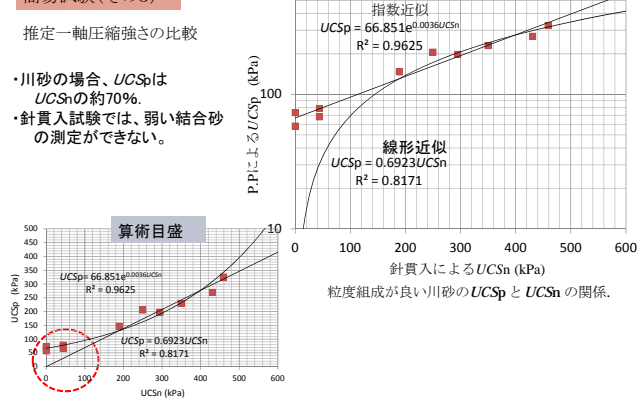


Cとa値によるUCSpの推定方法の例

第18回JICE研究開発助成成果報告会

簡易試験(その5)

推定一軸圧縮強さの比較
 ・川砂の場合、UCSpはUCSnの約70%.
 ・針貫入試験では、弱い結合砂の測定ができない。



第18回JICE研究開発助成成果報告会

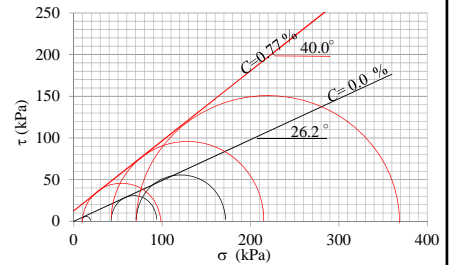
簡易試験(その6)

各種簡易試験結果の相互関係

| | 乾燥密度 (t/m ³) | H/UCSn | UCSp/UCSn | UCSp/H |
|--------|-----------------------------|--------|-----------|--------------|
| 帯電砂 | 1.4 | 1.98 | 0.63 | 0.38 |
| 均等な粗砂 | 1.3 | 0.70 | 0.36 | 0.48 |
| 細砂A | 1.4 | 1.84 | 0.49 | 0.20 |
| 中砂 | 1.26 | 3.01 | 0.67 | 0.27 |
| 細砂B | 1.58 (密詰) | - | - | 0.53 (密詰) |
| | 1.38 | 2.67 | 0.86 | 0.33 |
| 組成の良い砂 | 1.56 | 2.29 | 0.69 | 0.3 |

$H > UCSn > UCSp > UCSH$
 硬度 > 一軸強さ(針貫入) > 一軸強さ(P.P) > 一軸強さ(H)

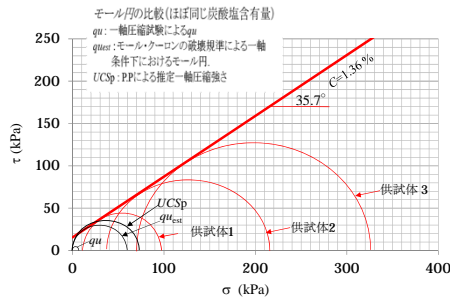
三軸圧縮試験
(その1)



細砂AのBC処理による効果の例

1. モール・クーロンの破壊規準が適用できる。
2. BC処理によって粘着力、内部摩擦角は増加する。
 ・炭酸塩含有量Cがわずか0.77%増加したとき、粘着力12.7kPa、内部摩擦角13.8°増加。

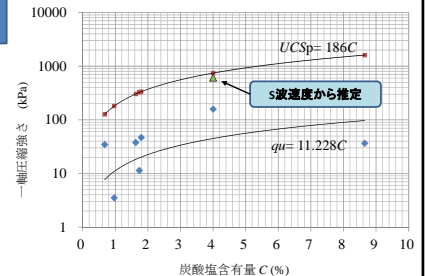
三軸圧縮試験
(その2)



炭酸塩含有量1.36%、
粘着力15.5 kPa、
内部摩擦角35.7°

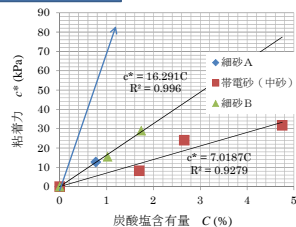
結果:
BC処理した細砂Bの破壊規準といるるな試験によるモール円の比較
quは異常に低い。
UCSpは三軸結果とほぼ整合する。

quと推定一軸圧縮強さ
の比較



結果:
・UCSpとS波速度から推定した一軸圧縮強さはほぼ一致した。
・qu値のばらつきは大きく、推定一軸圧縮強さ比べて異常に低い。
平均的にはUCSpの約16分の1

設計定数



設計定数の推定

$$c^* = \frac{1}{2} q_{est} \frac{1 - \sin \theta^*}{\cos \theta^*}$$

$$= \frac{1}{2} C_{eff} a C \frac{1 - \sin \theta^*}{\cos \theta^*}$$

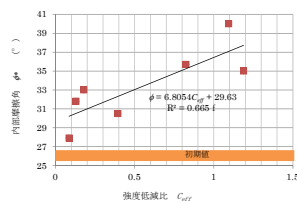
$$\theta^* = (6.8 C_{eff} + 29.6) \pm 2.7 (^\circ)$$

矛盾

帯電砂のa値=186 kPa
細砂AおよびBの平均a値≒58 kPa
ところが、c*については逆転する。



細砂AおよびBの平均C_{eff}値≒1.0
ベトナム(帯電)砂のC_{eff}値=0.1
C_{eff}補正すると、



結論

1. BC処理土の強度は炭酸塩含有量が高いほど高くなる。
 ただし、その効果は土の種類や測定方法に依存する。
 ・粒度、間隙比(乾燥密度)、土粒子表面の電荷密度等が関係する。
 その違いは測定値と炭酸塩含有量の間の比例定数(例えばa値)で表せた。
 $UCSp = aC$
 ・測定器や試験方法によってBC効果は異なった。
 簡易試験: $H > UCSn > UCSp > UCSH$
 三軸試験結果の $q_{test} \approx UCSp \gg qu$
 $UCSp \approx Vs$ による推定値
2. 三軸試験からモール・クーロンの破壊説が適用できる。
 c, phiを設計に使用可能
 ・設計には三軸試験が適用しているが、UCSp, Vsなどが補完的に使用可能である。
 ・BC処理土は脆性体であり、一軸条件では引張り破壊が起こりやすい。
 とくにゆる詰めの場合、一軸圧縮強さは低い値となる。
3. 一軸圧縮下の挙動は、せん断破壊説では説明できず、
 quはせん断強度を使用する設計定数としては不適当である。
4. 炭酸塩の影響を統一的に扱うには、良い質の炭酸塩と悪い質の炭酸塩(idle carbonates)に大別する必要がある。
 ・悪い炭酸塩の影響を強度低減係数C_{eff}で表すことができた。

