玉石を大量に含む洪積砂礫層における薬液注入配合

中国電力株式会社　土木部　正会員　○中村　芳弘
中国電力株式会社　土木部　正会員　斉藤　直
大林・五洋・佐藤共同企業体　正会員　部谷　伸博

1．はじめに

広島市内の大深度には，全域にわたって，透水性が高く，大径の玉石を多数含む玉石混り砂礫層が分布している。近年，市内における大深度地下工事の増加に伴い，この土層を対象とした薬液注入工事が各所で行われている。しかし，薬液注入工事の場合，注入後の効果を透水試験により簡易的に判断しており，適用されてきた配合が適切であるかどうかについては検証を行った事例のないのが現状である。

本稿は，シールド急曲線部防護等の目的で実施する薬液注入工事とそれに関連して行った注入試験結果から得られた知見を報告するものである。

2．対象地盤と試験地盤

試験地盤は，対象とする地盤と同様の特性を有する地盤として，同じ広島市内に位置する当工事の発進立坑内の玉石混じり砂礫層とした。表-1 および図-1 に示すとおり，この地盤は，透水性が高く，大径の玉石を多数含んでいるため，薬液が浸透しにくい特色をもっている。

表-1　地盤特性

土質区分	基底礫層(GL-30m～GL-35m)
礫径	φ 10～30cm の玉石が主体。最大径 70cm を確認。
礫率	80%以上
透水係数	2.90×10^{-3}～4.17×10^{-2}
N値	50 以上(良く締まった層)

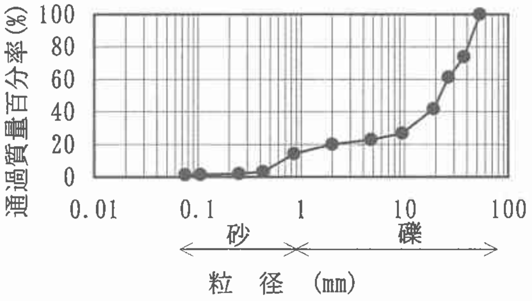

図-1　粒度分布

3．注入工事

(1)注入方法

注入はダブルパッカー工法で，図-2 に示すとおり，注入孔の平面間隔は 1m ピッチで，GL-30～-40m の砂礫層に高さ 3.5m の改良体を形成させた。

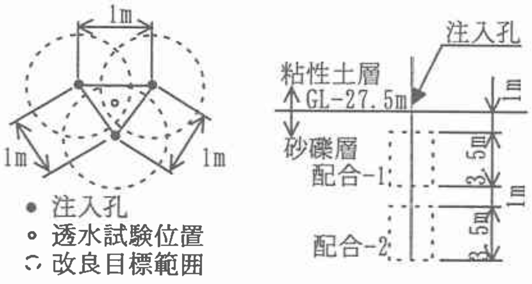

図-2　注入方法

(2)試験注入配合

試験注入する配合は，表-2 に示すとおり，従来広島市内において使用されてきた配合(配合-1)と 2 次注入率を下げた低コストな配合(配合-2)とした。使用した注入材料および使用料は，表-3 に示すとおりである。

表-3　材料および使用料(1000l あたり)

区分	使用材料	使用量(kg)
1 次注入	セメント	200
	ベントナイト	60
	水	894
2 次注入	ｼﾘｶﾗｲｻﾞｰ水ｶﾞﾗｽ	250
	ｼﾘｶﾗｲｻﾞｰﾘｱｸﾀｰ	55
	水	695

4．注入効果確認試験

試験は，改良範囲確認としての注入材浸透範囲の測定と，注入効果の確認試験としての透水試験および原位置せん断試験を実施した。各試験方法を以下に示す。

(1)改良範囲の確認

改良範囲の確認は，試薬を噴霧して変色した範囲を注入材浸透範囲として測定した。

(2)透水試験

透水試験は，回復法により 2 回実施した。

表-2　試験項目

配合名	注入率			備考
	1 次	2 次	計	
配合-1	15%	25%	40%	従来の配合
配合-2	20%	20%	40%	低コストな配合

(3)原位置せん断試験

原位置せん断試験の概要図を図-3 に示す。試験は，1 辺約 50cm の立方体に整形した改良体(各配合 2 体)に，50t 油圧ジャッキによりせん断荷重を載荷して行った。なお，載荷は，載荷角度 20°とし，ジャッキ圧力の増加速度を 1.0t/m²/min 程度で行った。

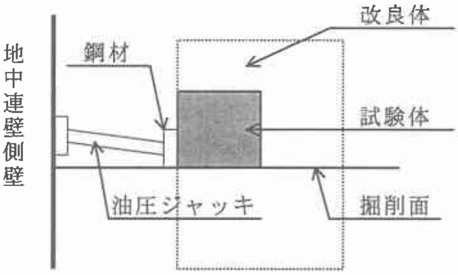

図-3　せん断試験概要図

5．試験結果

試験状況と試験結果を写真-1 および表-4 に示す。この写真の赤く変色している部分が，試薬により変色した改良体である。配合-2 の改良範囲は，配合-1 の改良範囲よりも若干小さい傾向にあるが，一般に設計で採用されている注入孔の配置 1.0～1.5m をほぼ満足している。また，透水係数は，配合-2 を使用しても透水係数を改善できるが，配合-1 と 1 オーダー異なる結果となった．せん断強度についても同様に，配合-2 の強度が若干劣る傾向となる。今回のせん断試験結果は，設計に一般に使用されている改良体の粘着力 10t/m²(注入率 40%)に対して，非常に小さい数値である。図-4 に示すせん断試験時の破壊形態からも明らかなように，改良体の破壊がせん断破壊よりも曲げ引張り破壊に近い状態であったことが原因である。改良体を下端固定の片持ち梁と仮定した破壊応力を求め，σ=2/3C として粘着力を計算すると改良体で一般に必要となる粘着力 10t/m² 程度が両配合共に得られている。この結果から，完全な止水を目的とした注入では配合-1 の適用が妥当であり，強度増大効果を目的とした注入配合では配合-2 の適用が可能であると考えられる。

写真-1　せん断試験状況

表-4　改良範囲および透水係数

項目	配合-1	配合-2
改良範囲	φ 2.3m×H1.5m	φ 2.1m×H1.2m
透水係数	2.7×10⁻⁵cm/sec	9.9×10⁻⁵cm/sec
せん断強度	4.7t/m²	3.6t/m²
粘着力	12～13t/m²	9～10t/m²

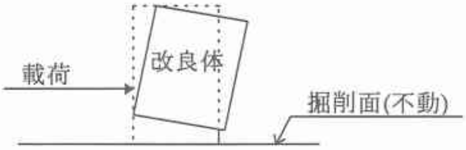

図-4　破壊形態

6．施工への適用

以上の試験結果から，今回の工事では，図-5 に示す注入工事において，崩落防止を目的とした門型改良に配合-2，止水および崩落防止を目的とした全断面改良に配合-1 を適用して施工を行った。この結果，表-5 に示すとおり，配合-2 においても，透水係数は 1×10⁻⁵cm/sec 以下の値となっており，止水目的の注入に適用可能な結果が得られた。

表-5　透水係数(実施工)

区分	配合-1	配合-2
改良目的	強度増大	止水+強度増大
透水係数	9.9×10⁻⁶cm/sec	7.2×10⁻⁶cm/sec

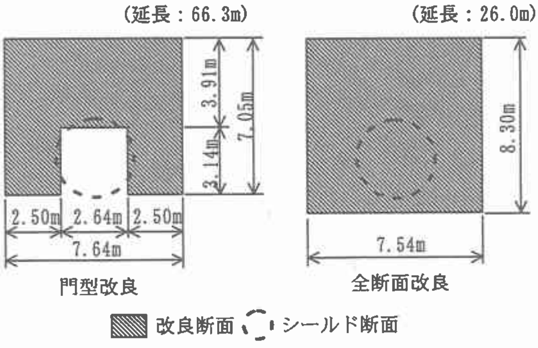

図-5　施工概要図

7．おわりに

今回の試験では，試験配合数が 2 配合で，試験数も少ないため，目的を満足する改良体の定数(透水係数，強度改良等)が得られる最適な配合を決定するには至っていない。しかし，確実な改良とコスト低減を両立させるには，発注する立場の技術者も，注入試験等によりこのような試験結果を蓄積し，材料等の特性を設計・施工に反映していくべきであると考えられる。