台湾高雄地下鉄工事におけるシールドの発進到達及び連絡通路部の地盤改良強度特性

正修大学　正会員　○柯　武徳
正修大学　協定会員　林　冠洲
関西大学工学部　フェロー　楠見　晴重

１．はじめに

台湾高雄地下鉄工事はシールド工法が採用されており、シールドの発進、到達坑の補助工法として高圧噴射攪拌工法が採用されている。その設計は日本ジェットグラウト協会のジェットグラウト工法の技術資料[1)]が使われている。しかし、台湾と日本の土質が異なることから、実際の地盤改良強度は設計下限値の 10 倍以上出てくる。そのため、シールド機が地盤改良区域に入ると掘進困難となり、種々な問題点が発生している[2)]。本研究は、台湾の土質に対して行った地盤改良土の強度特性について検討した。

２．工事概要

高雄地下鉄工事は、南北幹線道路・中山路に沿って高雄空港から在来線の高雄駅を経て市北部郊外の岡山に至る紅線（全線延長 28.3ｋｍ）と、東西幹線道路・中正路に沿って市東部郊外の鳳山から西仔湾を望む中山大学に至る橘線（全線延長 14.4ｋｍ）を建設するものである。紅線施工区域・7 工区，橘線施工区域・4 工区と DEPO（操車場基地）3 工区の全 14 工区のうち 9 工区が日本の建設会社によって施工されている。

３．試料および実験方法

本研究は室内での供試体製作と現場ボーリングでコア抜き供試体を作成した。

(1) 室内供試体製作

硬化材が普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄと高炉水砕ｽﾗｸﾞ微粉末を使用し、それぞれにモルタル３種類の試料を作成した。すべての供試体は直径 5cm、高さ 10cm の円柱形であり、次のように、供試体を作った。

（ａ）モルタル：水セメント比＝0.485、セメント：砂＝10：0（即ちセメントペースト）
材令 3,7,28,91,180 日に一軸圧縮強度試験使用する供試体はそれぞれの硬化材と材令で、3 個ずつを作った。この配合の普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄを opc0 とし、高炉水砕ｽﾗｸﾞ微粉末を hsc0 とする。

（ｂ）モルタル：水セメント比＝0.485、セメント：砂＝8.5：1.5
材令 3,7,28,91,180 日に一軸圧縮強度試験使用する供試体はそれぞれの硬化材と材令で、3 個ずつを作った。この配合の普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄを opc15 とし、高炉水砕ｽﾗｸﾞ微粉末を hsc15 とする。

（ｃ）モルタル：水セメント比＝0.485、セメント：砂＝7：3
材令 3,7,28,91,180 日に一軸圧縮強度試験使用する供試体はそれぞれの硬化材と材令で、3 個ずつを作った。この配合の普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄを opc30 とし、高炉水砕ｽﾗｸﾞ微粉末を hsc30 とする。

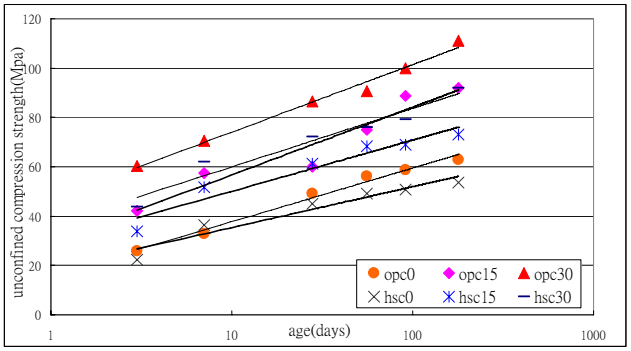
(2) 現場ボーリングでコア抜き供試体

台湾高雄地下鉄工事にて、高圧噴射攪拌（JSG）工法で注入した地盤改良を３ヶ月経過した時、現場にボーリングでコア抜き、1 本当りに上、中、下層の３ヵ所に直径 5cm、高さ 10cm の円柱形供試体を切断する。一軸圧縮強度試験を行う。配合は日本ｼﾞｪｯﾄｸﾞﾗｳﾄ協会の JG-2 号により、セメント量は 500kg/m^3 とする。

４．試験結果と考察

図―１は室内供試体を製作した材令 3,7,28,91,180 日における一軸圧縮強度（q_u）と材令（A）との関係を示したものである。どの配合でも、材令が長くなるほど、一軸圧縮強度が大きくなることを示している。どの硬化材でも、砂含有率が大きくなるほど、一軸圧縮強度が大きくなる傾向が見られる。

キーワード：シールド、地盤改良、一軸圧縮強度
連絡先：台湾高雄県鳥松郷澄清路 840 号　正修大学　土木工学科　ＴＥＬ886-7-731-0606　ＦＡＸ886-7-733-4731



図―1　一軸圧縮強度と材令との関係
（室内供試体）

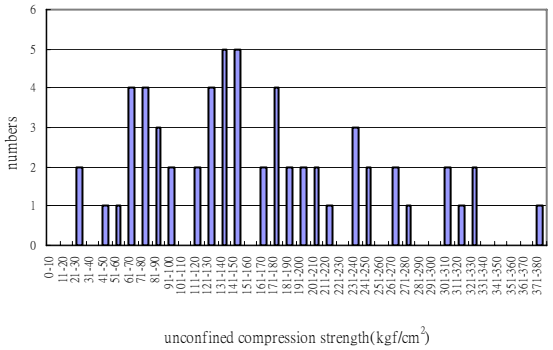
表-1 q_u と A 曲線の切片（C）、傾斜(D)一覧表

配合種類	C	D
OPC0	15.951	9.453
OPC15	29.335	11.901
OPC30	46.708	11.874
HSC0	18.797	7.194
HSC15	29.236	9.025
HSC30	36.401	10.256

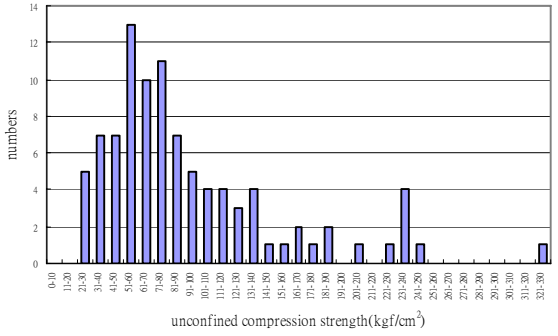
いずれも、A と q_u との関係は対数近似させることができる。$A = C + \ln D \times q_u$ ---------- (1)

相関係数が 0.92 以上であることから、非常に良い関係を示している。表-1 は図―１の各曲線の切片(C)、傾斜(D)を表すものである。C は初期強度を表す値であり、D は材令に伴う増加率を表す値と思われる。C は砂含有率が大きくなるほど高い値を示すことから、砂含有率が大きくなるほど地盤改良強度は大きくなると言える。D はどの硬化材でもセメントペーストがモルタルに比べると小さいことから、セメントペーストがモルタルより材令に伴う地盤改良強度の増加率が小さいことが分かる。また、砂含有率が大きくなるほど、地盤改良初期強度が大きく、かつ材令に伴う増加率も大きくなる傾向が見られる。

砂地盤の台湾高雄地下鉄工事において、高圧噴射攪拌工法で注入した地盤改良を３ヶ月経過した時、1本当りに上中下の３ヵ所で現場にボーリングでコア抜き、一軸圧縮強度試験を行った結果は図―２、３の通りである。いずれも、非常に大きい値が表している。図―4 は日本ｼﾞｪｯﾄｸﾞﾗｳﾄ協会が調査されたもので



図―2　一軸圧縮強度のヒストグラム
（コア抜き供試体・普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ）

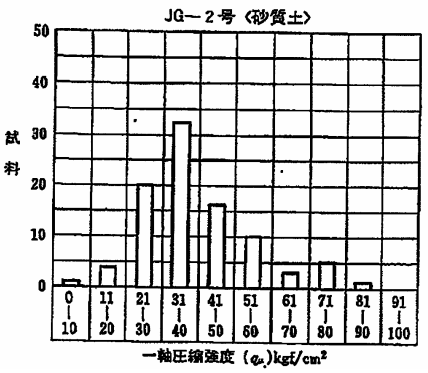


図―3　一軸圧縮強度のヒストグラム
（コア抜き供試体・高炉水砕ｽﾗｸﾞ微粉末）

ある。ほとんど 20～60kgf/cm² に分布される。JG-2 号配合の設計下限値は 20kgf/cm² であることから、良好な結果となった。

5. まとめ

日本と台湾高雄地下鉄工事は同じ JG-2 号配合で施工した結果は非常に大きい違いが出ていることが分かる。これは台湾高雄の砂が粒径がよくそろってよい粒度分布のためと推定される。また、室内製作供試体が砂含有率が大きくなるほど、地盤改良初期強度が大きく、かつ材令に伴う増加率も大きくなる傾向から、砂地盤の地盤改良強度が大きいのは砂含有率が大きいためではないかと推定される。即ち、原地盤の砂が多く地盤改良体の中に残されていると思われる。



図―4　一軸圧縮強度のヒストグラム
（日本国内調査したもの）[1)]

参考文献　1）日本ｼﾞｪｯﾄｸﾞﾗｳﾄ協会「ｼﾞｪｯﾄｸﾞﾗｳﾄ工法」技術資料, 2003.

2）柯, 林, 楠見：ｼｰﾙﾄﾞの発進到達部の地盤改良強度と縦波伝播速度との関係について, 土木学会 60 回年講 pp. 417～418, 2005.