

【建設工学研究所論文報告集第 54 号〔報告〕2012 年 11 月】

## 高精度表面波探査を用いた各種スラグ材料を混合した 浚渫粘性土地盤の改良効果の検討

### Effects of Condition of Compaction on Shear Wave Velocity for Compacted Soil

三浦 みなみ  
Minami Miura

澁谷 啓  
Satoru Shibuya

河野 祐斗  
Yuto Kono

忠野 祐介  
Yusuke Tadano

#### 1. はじめに

近年、世界の基幹航路に就航するコンテナ船の大型化が進展しており、輸送拠点としての国際コンテナ港湾の機能を強化するためには、航路や泊地の増深及び維持のための浚渫が必要である。そこで、阪神港における基幹航路の維持・強化を図るため、神戸港内では航路の拡大・増深のために浚渫が進められている。一方、この浚渫により発生する浚渫粘性土は膨大な量に及ぶため、これらの浚渫粘性土を有効に活用するために、神戸空港島の北西部の埋立てに埋立材として利用している。写真-1 は神戸空港島の全景を示したものであり、写真中には埋立範囲を示している。これらの浚渫粘性土は含水比が高く軟弱なものが多いため、早期の土地化のためには表層安定処理、地盤改良等を行う必要がある。図-1 は埋立地の概要であり、写真-1 中の B-B' 断面の様子を示している。2001 年から 2009 年までに約 2.9 km<sup>3</sup> の浚渫粘性土を受け入れており、浸透圧密を利用したドレーン改良により圧密改良を行っており圧密促進による減容化が進んでいる<sup>1)</sup>。しかし、2010 年以降に受け入れた浚渫粘性土に関しては未改良の状態であるため、土地利用に

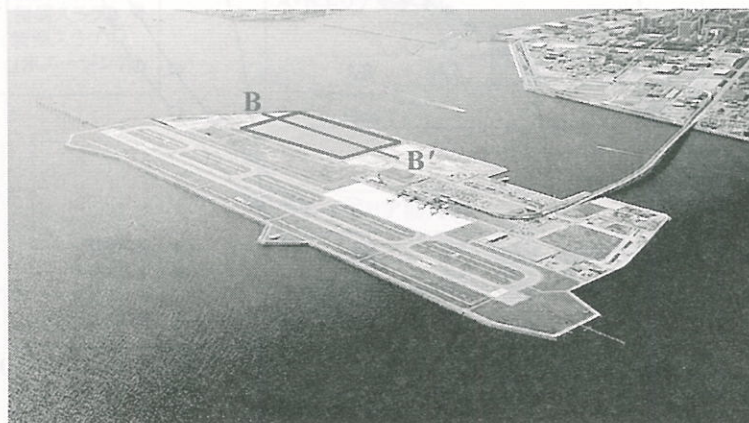


写真-1 神戸空港島全景<sup>2)</sup>に加筆

### 3. 原位置試験概要

図-5 は、各改良エリアの表面波探査測線を示したものである。また、図中の三角印 (△) は簡易支持力試験実施地点を、丸印 (●) はラムサウンディング実施位置をそれぞれ示したものである。さらに、図中に示す座標は、A2 エリア・B2 エリアについては北西境界点を基準点 (x,y)=(0,0) ) としており、C2 エリア・C3 エリア・D2 エリア・D3 エリア・E2 エリアの各エリアについてはラムサウンディング実施位置を基準点としている。

#### 3.1 表面波探査試験

表面波探査は、非破壊かつ簡便に地盤内の 2 次元的なせん断弾性波速度 (以下、S 波速度と表記) 分布を得ることができる物理探査手法である<sup>4)</sup>。本研究では、各エリアにおいて東西方向と南北方向の 2 測線でそれぞれ探査を行った。受振点間隔および起振点間隔はいずれも 0.5 m、測線長は 12 m としている。また、いずれのエリアについても、東西測線は始点を西側、終点を東側とし、南北測線は始点を南側、終点を北側としている。

#### 3.2 簡易支持力試験

簡易支持力試験は、地盤の支持力を簡易的に把握するための調査で、重錘を一定の高さから地盤に自由落下させたときに生じる衝撃加速度の最大値から、表層地盤の支持力を把握する試験である<sup>5)</sup>。本研究では、各エリアの表面波探査東西測線上の 5 箇所で行った。便宜上、試験実施地点を西から東に向かって測点 1 から測点 5 としている。各測点において試験を 5 回ずつ実施し、衝撃加速度から得られるインパクト値 (以下、 $I_a$  値と表記) の平均値を、その測点の値としている。

### 4. 試験結果及び考察

#### 4.1 水砕スラグ

図-6 は A2 エリアの東西測線における、試験施工から 7 日後、14 日後、21 日後、28 日後の表面波探査結果をそれぞれ示したものである。これらの結果より、7 日後の結果は S 波速度  $V_s$  が 80~100 m/s 程度であるのに対し、28 日後の結果は  $V_s$  が 90~110 m/s 程度と微増していることが分かる。このことから、日数の経過に伴い、地盤の改良効果が発現していることが伺える。図-7 は A2 エリアにおける簡易支持力試験の結果である。図中に示す値は、各地点の  $I_a$  値である。この結果より、表面波探査の結果と同様に日数の経過に伴わずかではあるが  $I_a$  値が増加していることから、改良効果が確認できたといえる。しかし、地点によっては増減の程度が様ではなく、また試験実施地点によっても  $I_a$  値に差が見られる。このことは、試料採取箇所によって強度にばらつきがあることを示唆している。さらに、図-8 は試験施工が

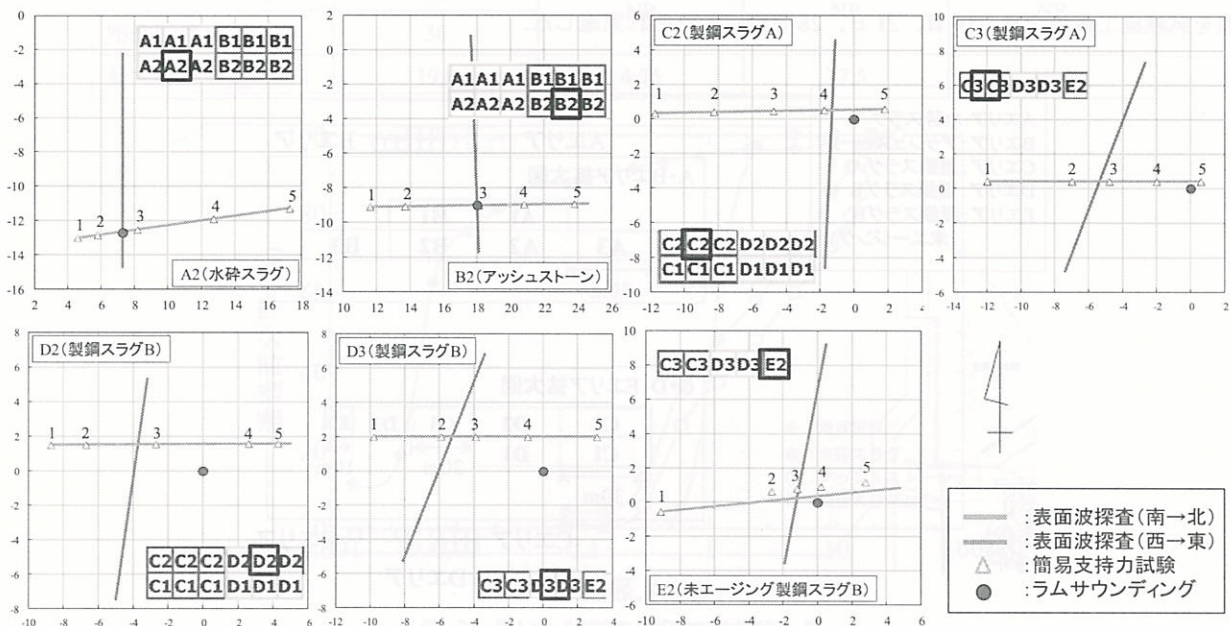


図-5 各エリアの原位置試験実施位置



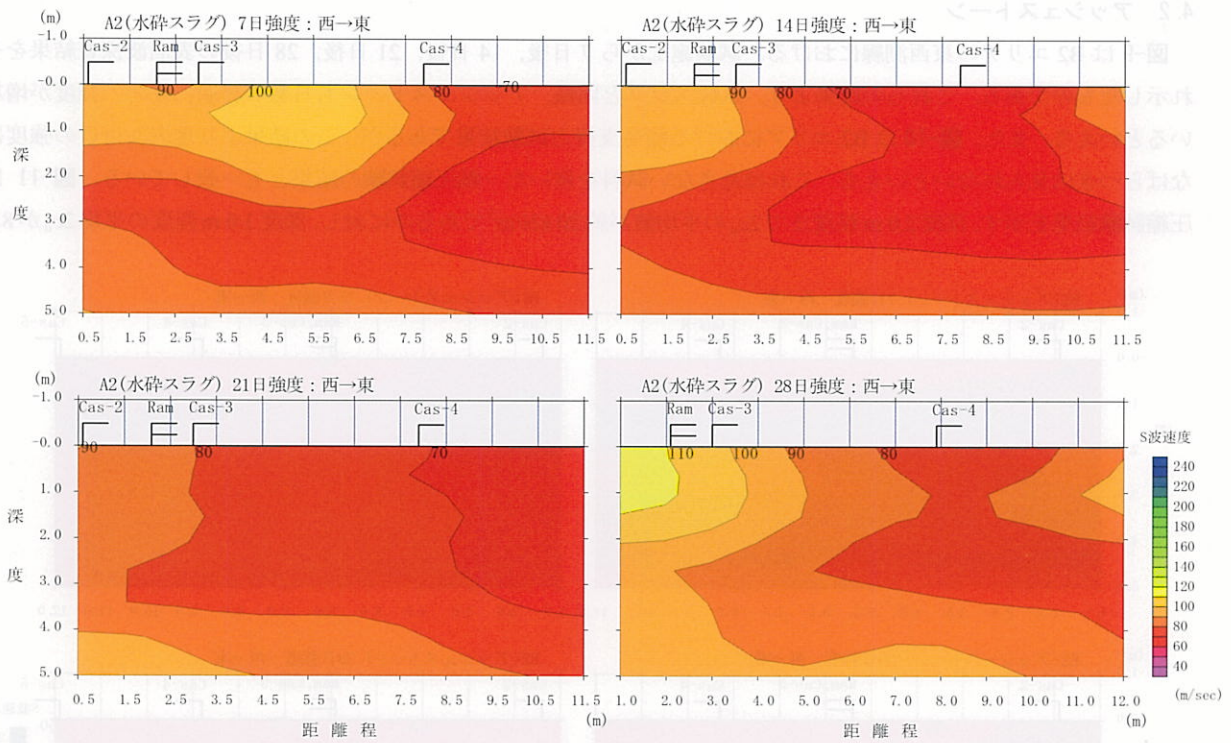


図-6 表面波探査結果 (A2 エリア)

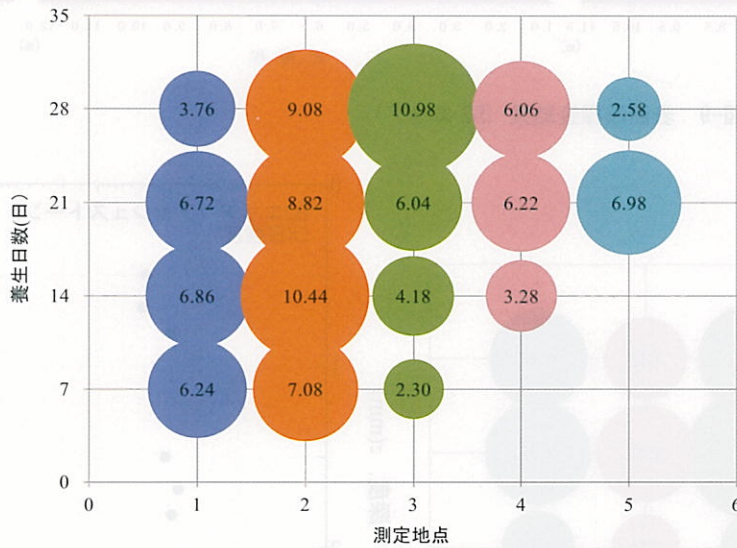


図-7 簡易支持力試験結果 (A2 エリア)

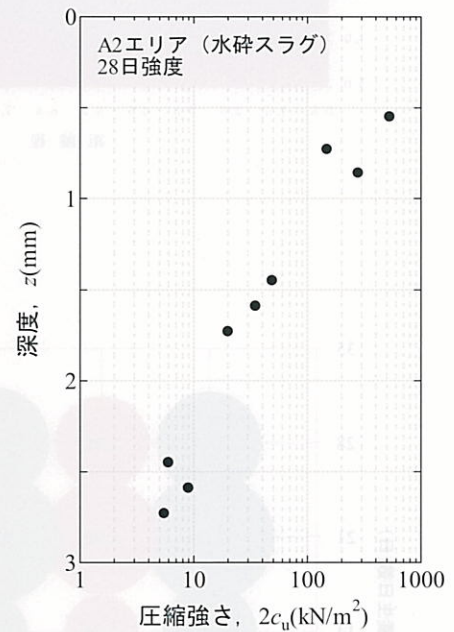


図-8 乱さない試料の  $2c_u \sim z$  関係 (A2 エリア)

ら28日後のA2エリアにおいてボーリングを実施して採取した乱さない供試体を用いた一軸圧縮試験結果を示したものである。この結果からも採取箇所によって強度が大きく変化している様子が分かる。特に浅い箇所から採取した試料については  $2c_u = 150 \sim 550 \text{ kN/m}^2$  と大きくばらついており、かつ深度1.0 m程度の平均圧縮強さ  $2c_u$  が  $300 \text{ kN/m}^2$  であるのに対し、深度2.0 m程度の平均圧縮強さ  $2c_u$  が約  $35 \text{ kN/m}^2$  であることから、深度方向にもばらつきが大きいことが分かる。これは水砕スラグの土粒子密度が小さく、うまく混合できなかったためであると考えられる。

4.2 アッシュストーン

図-9はB2エリアの東西測線における、試験施工から7日後、14日後、21日後、28日後の表面波探査結果をそれぞれ示したものである。これらの結果より、水砕スラグと同様、アッシュストーンも日数の経過に従い、強度が増加しているといえる。また、図-10はB2エリアにおける簡易支持力試験結果であるが、この結果より地表面付近の強度に大きなばらつきは見られないといえる。これは乱さない試料を用いた一軸圧縮試験の結果とも一致している。図-11に一軸圧縮試験結果を示す。深度2.0m程度まで $2c_u$ の平均値が約 $20\text{ kN/m}^2$ であるのに対し、深度3.0m程度の平均 $2c_u$ が $8\text{ kN/m}^2$

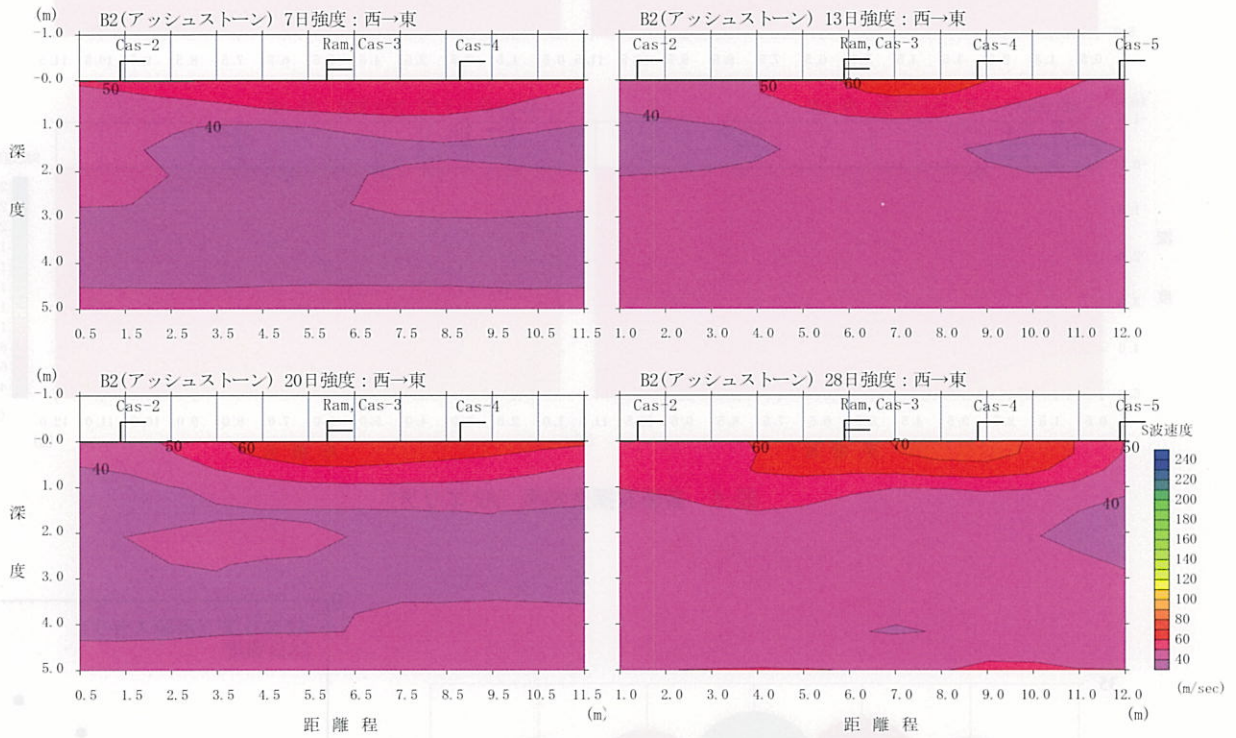


図-9 表面波探査結果 (B2 エリア)

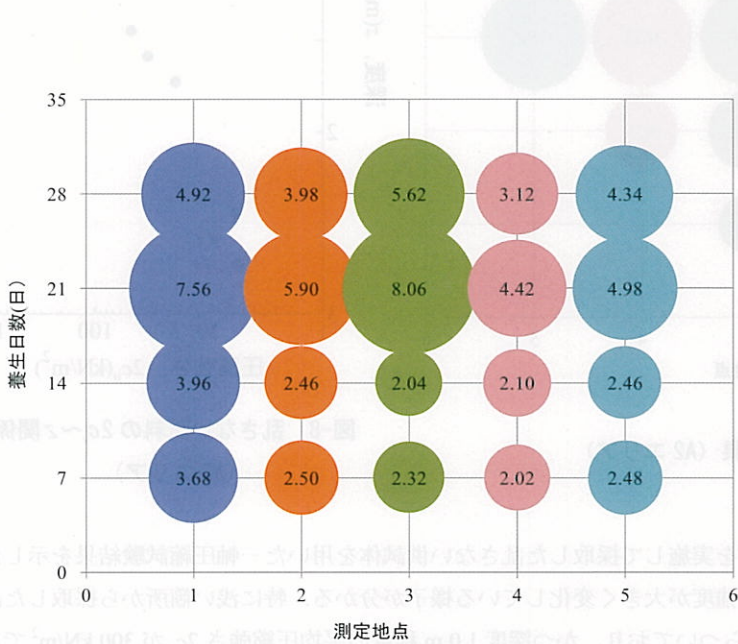


図-10 簡易支持力試験結果 (B2 エリア)

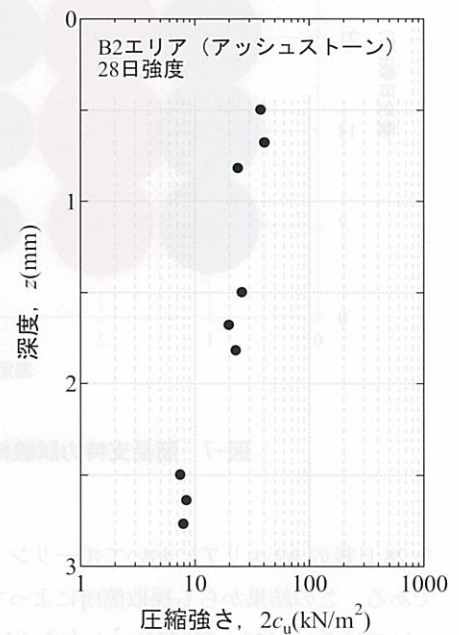


図-11 乱さない試料の $2c_u \sim z$ 関係 (B2 エリア)



程度であることから、改良深度は2.0 m程度であると考えられる。しかし、本研究で実施した混合条件では、いずれの深度においても圧縮強さ $2c_u$ が15~25 kN/m<sup>2</sup>程度と小さい値であることから、図-9中に示す28日強度結果から改良範囲を特定することは困難である。だが、 $2c_u$ の値が小さいことは、S波速度が $V_s=50\sim70$  kN/m<sup>2</sup>と相対的に小さい値を示していることと傾向が一致している。

### 4.3 製鋼スラグ

図-12は2エリアの東西測線における、試験施工から7日後、14日後、21日後、28日後の表面波探査結果をそれぞれ示したものである。これらの結果より、水砕スラグやアッシュストーンと同様に、製鋼スラグも日数の経過に従い、強度が増加しているといえる。特に、28日強度の結果に着目すると、深度3.0 m程度の改良部のS波速度と深度3.0 m以深のS波速度を比較すると、未改良部分が120 m/s程度であるのに対し改良部は240 m/sであり相対的に大きくなっていることから、改良深度は3.0 m程度であり、改良効果が顕著に表れていることが分かる。この結果は、ラムサンディングにより得られた結果と一致している。図-13に、ラムサンディングにより得られた $N_d$ 値の深度方向分布図を示す。図中の7日強度と28日強度を比較すると、 $N_d$ 値が増加していることから、養生日数の経過による強度の増加が認められる。またこの結果より、3.0 m以深で $N_d$ 値がおおよそ0となっていることから、約3.0 m以上で改良効果が見ら

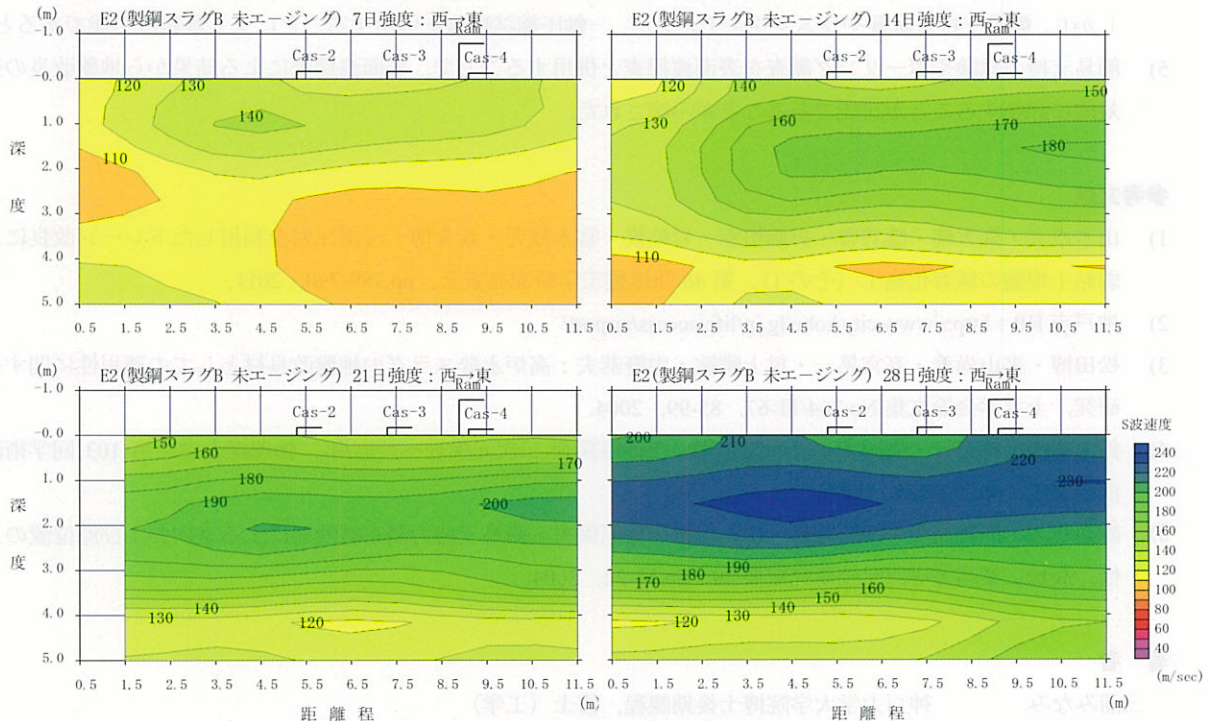


図-12 表面波探査結果 (E2 エリア)

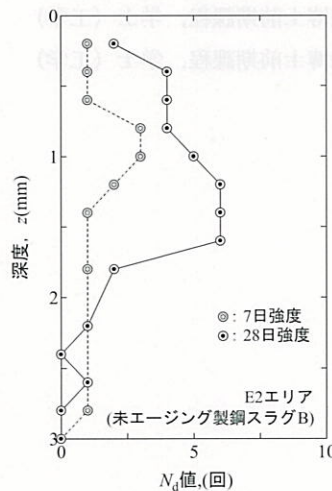


図-13  $N_d$  値の深度方向分布

れると判断できる。

## 5. まとめ

本研究より得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 各種スラグ材料を混合することによって強度発現の程度に差は見られるものの、浚渫粘性土の強度改善が見込めることが明らかとなった。
- 2) 本研究の条件では製鋼スラグを用いた改良地盤で、顕著な改良効果が得られた。ただし、利用用途に応じて必要な強度が異なることから、配合比率の影響や用地化に向けた混合方法等について検討していく必要がある。また、本研究の試験結果はすべて、養生日数が 28 日以内という短期間での試験結果であるため、長期的な改良効果を引き続き検討する必要があるといえる。
- 3) 各エリアで、養生日数の増加に伴い S 波速度が増加していることが確認できた。特に E2 エリアでは、表面波探査の結果から改良部と未改良の境界を推定することが可能であった。
- 4) エリア内で局所的に強度のばらつきが見られる場合、それらを表面波探査の結果から判断することは困難であった。しかし、簡易支持力試験やラムサウンディング、一軸圧縮試験等を併用することにより解釈は可能であるといえる。
- 5) 簡易支持力試験やボーリング調査を表面波探査と併用することで、表面波探査による結果から地盤改良の効果を相対的に評価することが可能であることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 山本卓夫・森大輔・澁谷啓・折橋恒春・岩崎俊・宮本健児・新舎博：浸透圧密を利用したドレーン改良による超軟弱粘土地盤の減容化施工（その 1），第 46 回地盤工学研究発表会，pp.789-790，2011.
- 2) 神戸市 HP：<http://www.city.kobe.lg.jp/life/access/airport/>
- 3) 松田博・来山尚義・高宮晃一・村上剛敏・中野恭夫：高炉水砕スラグの地盤改良材としての適用性に関する基礎的研究，土木学会論文集 No.764/III-67，85-99，2004.
- 4) 鈴木晴彦・林宏一・信岡大：表面波を用いた地震探査-二次元探査への応用-，物理探査学会第 103 回学術講演会講演論文集，pp.221-225，2000.
- 5) 諏訪隼人・向谷光彦・岡崎芳行・松山哲也・藤原保夫：簡易支持力測定試験器による室内および原位置の工学的特性，高松工業高等専門学校研究紀要 39，pp.17-22，2004.

## 著者

三浦みなみ	神戸大学大学院博士後期課程，修士（工学）
澁谷 啓	所員，Ph.D，博士（工学），地盤工学
河野 祐斗	神戸大学大学院博士前期課程，学士（工学）
忠野 祐介	神戸大学大学院博士前期課程，学士（工学）



図 51 養生日数による S 波速度の経深変化