

供用しながらの耐震改修工事に凍結工法初適用 その1 一不飽和凍土強度の計画と検証一

大成建設(株) 建築本部		矢島 清志
大成建設(株) 建築本部		岡沢 良昭
(株)精研 凍結本部	正会員	○小椋 浩
(株)精研 凍結本部	正会員	大舘 良吉
(株)精研 技術開発部	正会員	大石 雅人

1. はじめに

建物としての機能を維持した状態で、基礎に免震装置を設置し耐震改修を行う免震レトロフィット工法<sup>1)</sup>がおこなわれた。現地での平板載荷試験の結果、建物基礎直下に存在する軽石凝灰岩は拘束力のない状態では支持力が得られず無改良での基礎下掘削が不可能であることが判明し、地盤改良として均質的に強度を向上させることが可能な凍結工法が採用された。

作業の流れを図1に示す。脆弱な軽石凝灰岩を掘削し、基礎と支持地盤とを接続するために、直下地盤の一部に凍土を造成した。凍土は、軽石凝灰岩の掘削から仮受け支柱が設置されるまでの間、基礎の荷重を受け持った。

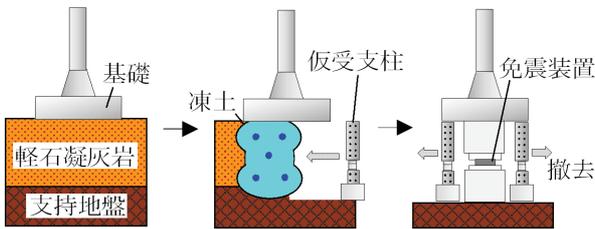


図1 凍結工法を適応した免震レトロフィット工法

凍結工法は通常、都市部地下でのトンネル工事など飽和した地盤に用いられる事が多く、本工事のような地表面付近での不飽和地盤での施工経験はほとんどない。不飽和凍土は、空気の割合が増加するほど、飽和凍土に比べて強度が低下する<sup>2)</sup>こと、地表面付近の地盤は、天候や工事の進捗による影響で飽和度が変化しやすいことを考慮すると、飽和地盤における一般的な設計強度を用いることはできない。

そこで本報では、本工事における不飽和凍土の設計強度の設定およびその妥当性確認を目的とし、現場から採取した試料土を用いた不飽和凍土における強度の飽和度依存性を調べた。つぎに、飽和度依存性と現場で想定される飽和度から設計強度を設定し、建物基礎の荷重を考慮して、凍土厚み

を決定した。また、施工中に現場から採取した不攪乱凍土の強度を確認することで、安全に留意した施工をおこなった。

2. 不飽和凍土の作成方法および強度試験方法

供試体作成方法を図2に示す。氷飽和度  $S_{ri}$  は、現地から採取し炉乾させた試料土と所定の水分とをよく混ぜ合わせ、締固めることで調整した。加える水分量は、式(1)を用いて計算した。

$$w = \frac{S_{ri} \times \rho_w}{\rho_s \times \rho_d \times 1.09^2} (\rho_s - \rho_d) \quad (1)$$

ここで、 $w$  は含水比、 $\rho_s$  は土粒子密度、 $\rho_d$  は乾燥密度、 $\rho_w$  は水の密度、 $S_{ri}$  は氷飽和度を示す。1.09 は水が相変化する際の体積を補正する。また氷飽和度は、飽和度における水の体積を氷の体積としたものである。

一軸圧縮試験の条件は、温度  $-10^{\circ}\text{C}$ 、ひずみ速度  $1.0\%/min$ 、氷飽和度は 100, 80, 60, 40, 10% の5条件で行った。

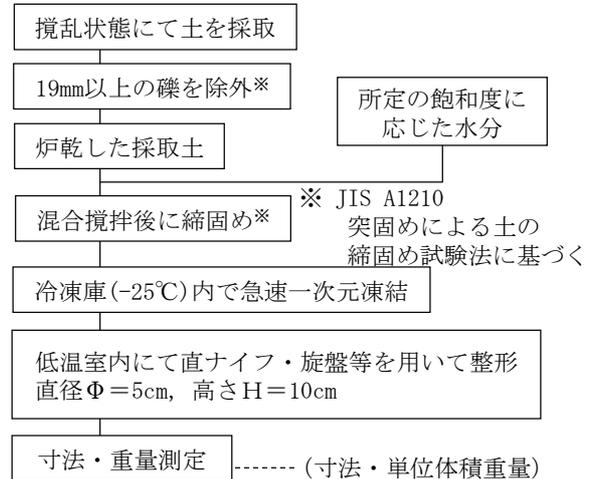


図2 供試体作成の手順

3. 強度試験結果

本試験の前に供試体作成方法の妥当性を確認するため、不飽和供試体の含水比分布を調べた。不飽和供試体で生じる水分分布の要因として、比較的弱い毛管力によって保持される水分が重力によ

キーワード 凍結工法, 一軸圧縮試験, 凍土, 不飽和

〒112-0002 東京都文京区小石川 1-15-17 TEL.(03)5689-2351 FAX.(03)5689-2361

って高さ方法に移動することが考えられる。図3に示す飽和に近い条件における供試体高さ方向の水分分布であっても、水分の偏りが小さかったことから、強度に大きく影響しない範囲で均質な供試体が作成できていると推察できる。

氷飽和度  $S_{ri}$  と一軸圧縮強度  $q_u$  との関係を図4に示す。ここで、図中に示す攪乱凍土とは、本報の供試体作成法により飽和度を調整したもの、不攪乱凍土とは、凍土造成後に、現場から不攪乱の状態にて採取した供試体を示す。

さまざまな飽和度に調整した試験では、 $S_{ri}$  の増加に対して  $q_u$  が増加する傾向を示す。特に、 $S_{ri}$  が 60%以下の範囲では、 $S_{ri}$  の増加に伴って  $q_u$  が直線的に増加した。 $S_{ri}$  が 60%以上の範囲では、緩やかな強度増加を示し、飽和度が 80%以上の範囲では、強度の差がほとんどなかった。さらに、不攪乱凍土と攪乱凍土の  $q_u$  を比較すると、両者は大きく変わらず、攪乱凍土の示す傾向に一致することから、本報の供試体作成方法で、概ね現場の強度を表現しており、今回の試料土に対しては、妥当な試験方法であったと考えられる。

4. 凍土強度の設計と現場検証

現地採取土の含水比および乾燥密度の測定から、現場における氷飽和度を  $S_{ri}=60\%$ 以上と想定し、図4の結果と併せることで、現場凍土の一軸圧縮強度を  $q_u=6.0\text{MN/m}^2$  に設定した。既存建物の基礎フーチング下部に作用する軸力は最大で一カ所当たり  $P=12,155\text{kN}$  となる。凍土壁は基礎下部の掘削に伴って新たに架設される仮設柱が、当該軸力を負担するまでの期間、下部の凝灰質シルト岩部に荷重を伝達する。

上述の  $q_u=6.0\text{MN/m}^2$  より、長期許容応力度は 1/3 の値  $\sigma_{uc}=2.0\text{MN/m}^2$  とし、フーチングの奥行き長さ  $l=3.6\text{m}$  であることから、凍土壁の必要厚み(t)は、式(2)のようになる。

$$t = \frac{P}{\sigma_{uc} \times l} = \frac{12155}{2000 \times 3.6} = 1.69\text{m} \quad (2)$$

これより、施工誤差を考慮して、全凍土壁を  $t=1.8\text{m}$  として本工事に採用することとした。

この凍土を造成するために凍結管は軽石凝灰岩層厚に合わせて各基礎下部に 3~6 本の凍結管を配置し、一箇所 45 日の凍土造成期間をもって  $t=1.8\text{m}$  の凍土壁を造成する計画とした。

凍土強度を現場検証するため、施工中に現地凍土を不攪乱状態で採取し強度試験を行った(図4, 不攪乱凍土)。これによると凍土の氷飽和度は 90%程度、一軸圧縮強度は  $9.0\text{MN/m}^2$  以上と、十分に安全性が確保されていることを確認した。

また施工中に計 4 回地盤の飽和度の確認を行った。結果は氷飽和度  $S_{ri}=72.7\sim 86.2\%$  (平均値 80.2%)と、想定された氷飽和度  $S_{ri}=60\%$ を上回っており凍土強度は十分確保されていると推察された。

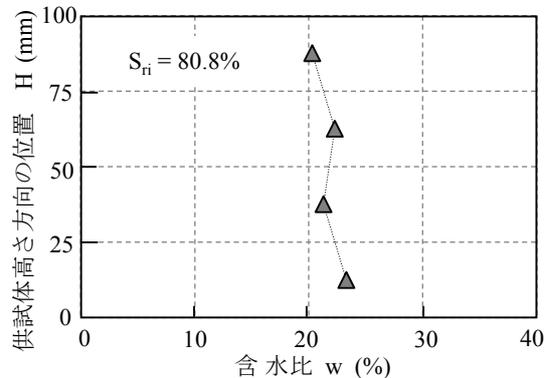


図3 供試体高さ方向の含水比分布

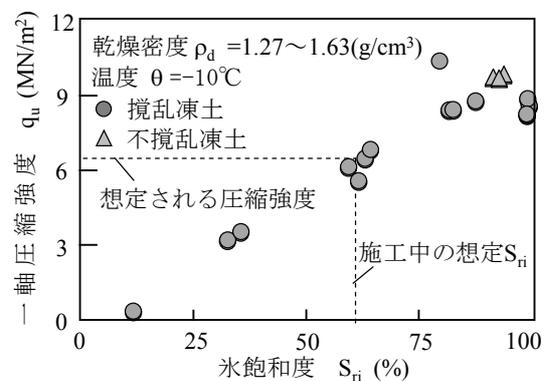


図4 氷飽和度と一軸圧縮強度との関係

5. まとめ

本報では、飽和度を調整した不飽和凍土の強度試験から設計強度および凍土厚みを決定し、その妥当性を検討した。以下に、成果を列挙する。

- ・本報の試料土および飽和度調整方法では、供試体内部の含水比が均一な状態でさまざまな飽和度に調整できた。
- ・飽和度が 60%以下の範囲では、氷飽和度の増加に伴って強度が直線的に増加し、それ以上の範囲では、緩やかな強度増加を示した。特に、飽和度が 80%以上の範囲では、不飽和であっても強度の差がほとんどなかった。
- ・圧縮強度の飽和度依存性と現地盤で想定される飽和度から、不飽和凍土の設計強度を設定した。さらに、現場の飽和度確認および不攪乱凍土の強度試験から、凍土の安全性を確認した。

文献 1) 町田他(2016):建築学会 地盤凍結工法を適用した直接基礎建物の基礎下免震レトロフィット工事に関する事例報告その1~その6  
 2) 高志他(1979):雪氷学会講演予稿集 p.158.