

スラリー施工によるスラブの品質管理基準に関する検討

佐賀大学共同研究員 ○正 碓井博文

佐賀大学理工学部 正 日野剛徳 佐賀大学大学院理工学研究科 学 SINDETE Mathiro Jose

1. はじめに 佐賀低平地における軟弱地盤対策は、柱状改良体（以下、コラム）と盤状改良体（以下、スラブと呼ぶ）の組み合わせによるものが主流になってきている。スラブの施工は粉体施工に加え、2013年頃からはスラリーによる施工も行われるようになってきている。本報では、佐賀低平地の軟弱地盤対策に適用中のスラリー施工によるスラブの品質管理データを整理し、その基準について検討した。

2. フローティング基礎におけるスラブの品質管理基準¹⁾

図-1に、低盛土における軟弱地盤対策の考え方を示す。佐賀低平地における盛土高さが2~3m程度の低盛土²⁾では、2003年頃からコラムと厚さ $t=1.0\text{m}$ のスラブを組合わせた工法が多用されている。表-1に、粉体施工によるスラブの品質管理基準を示す。粉体施工は粉体のセメント系固化材を散布し攪拌混合するものであり、品質管理基準として設計基準引張強度 σ_{tk} 、現場基準引張強度 σ_{tf} 、室内基準引張強度 $\sigma_{t\ell}$ が定められている。 σ_{tk} と σ_{tf} の強度比は、変動係数 $CV=0.25$ のもとで σ_{tk} が片側危険率10%を上回る条件を満足させるために、 $\sigma_{tf}/\sigma_{tk}=1.5$ としている。 σ_{tf} と $\sigma_{t\ell}$ の強度比 $\sigma_{t\ell}/\sigma_{tf}$ は実績より3.0としている。

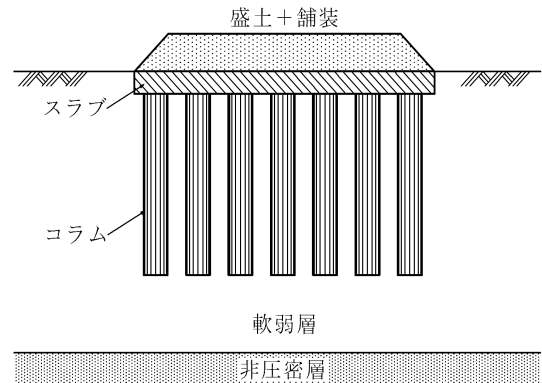


図-1 低盛土における軟弱地盤対策の考え方¹⁾

表-1 粉体施工によるスラブの品質管理基準 (参考文献¹⁾に加筆修正)

設計基準引張強度 σ_{tk} (kN/m ²)	現場基準引張強度 σ_{tf} (kN/m ²) ^{注1)}	室内基準引張強度 $\sigma_{t\ell}$ (kN/m ²)
$\sigma_{tk}/1.5=80$	120 ^{注2)}	$3.0\sigma_{tf}=360$ ^{注3)}

注1) スラブの現場強度は平均値を採用した。

注2) 変動係数 $CV=0.25$ のもとで σ_{tk} が片側危険率10%を上回る条件を満足させるために、 $\sigma_{tf}/\sigma_{tk}=1.5$ を採用。

注3) 実績による。

3. スラリー施工によるスラブの割裂引張試験と結果

佐賀低平地における中高盛土の軟弱地盤対策ではスラブは厚さ $t=1.5\text{m}$ が主流であり、セメント系固化材と水を加えたスラリーによって施工されている。本報の検討に用いたスラブの品質管理データは、延長約2kmからなる中高盛土道路の施工区間において得られたものである。発注工事件数30件、施工総面積約40,000m²における品質管理は、前章の基準に基づき $\sigma_{tk}=80\text{kN/m}^2$ 、 $\sigma_{t\ell}=3.0\times\sigma_{tf}=3.0\times(1.5\times\sigma_{tk})=360\text{kN/m}^2$ によって行われている。品質管理の頻度として、1,000m³以上~5,000m³未満の規模からなる一つの発注工事区間において3回程度、1回の品質管理における割裂引張試験はスラブの上、中、下のそれぞれから得られた3本の供試体に適用されている。割裂引張試験は「JIS A 1113:2018 コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準じ、同施工区間全体で110回の実施頻度に至る。図-2に、上述してきた割裂引張試験の結果を示す。図-2の結果より、平均値443kN/m²、最大値693kN/m²、最小値165kN/m²のように得られている。なお、同最小値は表-1の σ_{tk} を大きく上回っている。表-2

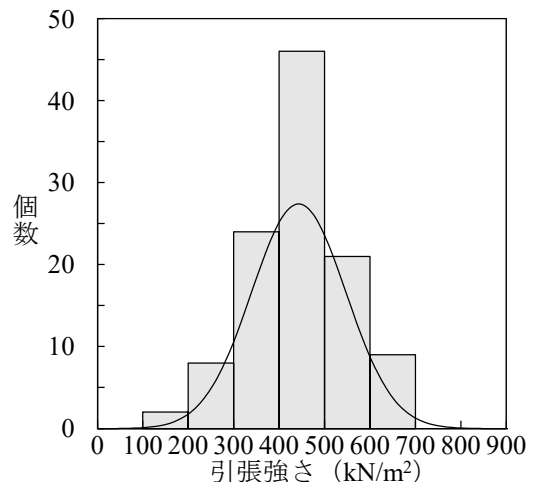


図-2 割裂引張試験の結果

に、図-2の結果に対する χ^2 (カイ2乗) 検定³⁾の結果を示す。 χ^2 検定は、データ分布の性質の判断に用いられるものであり、帰無仮説として「図-2の結果は正規分布である」、対立仮説として「図-2の結果は正規分布

ではない」を掲げ、両仮説の取捨選択に臨むものである。 $\chi^2=4.67 < \chi^2=15.51$ が得られたことから有意な差はないと判断され、**図-2**の結果は正規分布とみなせる。他方、**図-2**の結果における変動係数 $CV_f=0.24$ のように、スラリーによる地盤改良技術の経験に照らせば比較的低い値に収まっている。**表-3**に、 CV_f に関する F 検定による信頼性の確認³⁾の結果を示す。 F 検定は、データ分布のちらばりの判断に用いられ、帰無仮説として「 CV (第2章参照) と CV_f の分散に差はない」、対立仮説として「 CV と CV_f の分散に差がある」を掲げ、両仮説の取捨選択に臨むものである。 $V^2 \sigma_{ff}=0.056 < CV^2 \cdot F=0.084$ の値が得られたことから、**表-1**の根拠をもたらししている $CV=0.25$ と CV_f との間で有意な差は認められず、概ね等しいと判断される。

表-2 割裂引張試験の結果に関する χ^2 検定

統計量 (標本の特性値)		棄却条件	
標本サイズ n	110	有意水準 α	0.05
平均 m	442.87	自由度 ϕ	8
標本標準偏差 s	104.0	χ^2	15.51
χ^2	4.67		

表-3 割裂引張試験の結果における変動係数 CV_f に関する F 検定

統計量 (標本の特性値)		棄却条件	
標本サイズ n	110	有意水準 α	0.01
平均 m	442.87	自由度 $\phi=n-1$	109
標本標準偏差 s	104.0	F 値	1.342
変動係数 CV_f	0.24	CV	0.25
強さの偏差平方和 S	1189653.577	CV^2	0.0625
変動係数の平方和 S_v	6.065	$CV^2 \cdot F$	0.084
変動係数の不偏分散 $V^2 \sigma_{ff}$	0.056		

4. スラリー施工の室内基準引張強度 σ_{tk} に関する検討 **図-2**の結果を実線からなる頻度分布曲線 D として**図-3**中に示した。 D の傾向によれば、**表-1**における $\sigma_{tk}=80\text{kN/m}^2$ を下回る確率は 0.02%と極めて低い。さらに、**表-1**における $\sigma_{tk}=3.0 \times \sigma_{tf}$ について、同式をスラリー施工からなるコラムの場合の基準に見立て $\sigma_{tk}=2.0 \times \sigma_{tf}$ と仮定し、 D を1.5で除した頻度分布曲線 $D/1.5$ について検討し、破線として**図-3**中に示した。 $D/1.5$ の平均値 $=295\text{kN/m}^2$ 、標準偏差 $s=69\text{kN/m}^2$ の値が得られた。それでもなお、**表-1**における $\sigma_{tk}=80\text{kN/m}^2$ を下回る確率は0.10%のように低く、スラリーによる地盤改良技術において一般的に懸念される不良発生率の10%を大きく下回ることがわかった。以上の結果を提案の形でまとめると、**表-4**のように示せる。

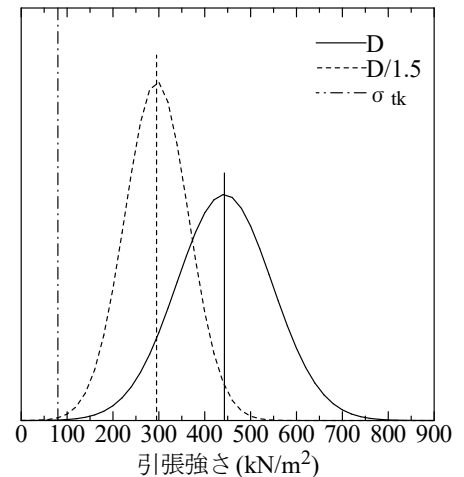


図-3 割裂引張試験の頻度分布曲線

5. まとめ 本報で得られた知見を要約すると、次のとおりである：1) 佐賀低平地のスラリー施工によるスラブの割裂引張試験の結果から変動係数 CV_f は 0.25 と判断されることから、 σ_{tk} が片側危険率 10%を上回る条件を満足させるために、 $\sigma_{tf}/\sigma_{tk}=1.5$ とする；2) スラリー施工によるスラブの室内基準引張強度 σ_{tk} について、現場基準引張強度 σ_{tf} の 2.0 倍としても設計基準引張強度 σ_{tk} を下回る確率は極めて小さい；3) 佐賀低平地における品質管理データの分析に基づき、スラリー施工におけるスラブの品質管理基準を提案した。

表-4 スラリー施工におけるスラブの品質管理基準の提案

設計基準引張強度 σ_{tk} (kN/m ²)	現場基準引張強度 σ_{tf} (kN/m ²) ^{注1)}	室内基準引張強度 σ_{tk} (kN/m ²)
$\sigma_{tf}/1.5=80$	120 ^{注2)}	$2.0\sigma_{tf}=240$ ^{注3)}

注1) スラブの現場基準引張強度として、現場で行う引張試験全体の平均値を用いる。

注2) 割裂引張試験における変動係数 $CV_f=0.25$ が得られたため、 σ_{tk} が片側危険率 10%を上回る条件を満足させるために、 $\sigma_{tf}/\sigma_{tk}=1.5$ とする。

注3) 検討に用いた品質管理データによる提案値。

謝辞：本検討の実施に際し、佐賀県有明海沿岸道路整備事務所にはスラリー施工からなるスラブの品質管理データを提供していただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献：1) フローティング基礎研究会：コラムアプローチ工法設計マニュアル，p.19，2005。2) 伊賀屋ら：地盤工学会誌，地盤工学会，Vol.60，No.8，pp.18-21，2012。；3) 日本建築センター・ベターリビング：2018年版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針～セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法～，pp.617-624，2018。