

浅層改良盤の曲げ耐力の評価に関する一考察

国立研究開発法人 土木研究所	正会員	宮武 裕昭
国立研究開発法人 土木研究所	正会員	近藤 益央
国立研究開発法人 土木研究所	正会員	井上 玄己
ライト工業株式会社	○正会員	宇梶 伸
ライト工業株式会社	正会員	平林 学

1. はじめに

浅層地盤改良については、”セメントをスラリー状にして、高含水比の軟弱土と均一に攪拌する工法が昭和40年頃から各地で試験的に実施”¹⁾と記述されている。昭和50年頃より多くの研究成果が発表され、曲げ耐力を用いた浅層改良盤の設計法の提案もみられた。昭和60年には表-1の「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」一版が発行され、現在(第四版)においても設計・施工を行う上での技術マニュアルとして広く用いられている。

最近では軟弱地盤対策の工費・工期の縮減策として、浅層地盤改良及び中層地盤改良にトレンチャー方式による施工方法が普及している。さらには、深層混合処理工法と浅層改良工法やジオテキスタイルを組み合わせて用いる工法も提案されているが²⁾³⁾、浅層改良盤を併用する場合にはその曲げ耐力の評価が必要と考えられる。しかし、特殊な場合を除き、押し抜きせん断の照査を行えば、過去の経験から浅層改良盤の曲げ照査を省略する場合が多い。

そこで、浅層改良盤の設計法について調査を行い、設計時に照査する項目の整理と、照査項目及び照査方法を決めた根拠について整理した。本報告では、浅層改良盤の曲げ耐力を照査する方法の調査結果、今後の曲げ耐力照査について考察した結果を報告する。

2. 既往の図書資料

浅層混合処理工法に関する代表的な資料を表-1に示す。同表(1)と(2)では吉田信夫⁴⁾⁵⁾や宇野尚雄⁶⁾等の研究を引用し、一軸圧縮強度(q_u)と曲げ強度(σ_b)の関係を、 $\sigma_b = (0.33 \sim 0.75) \cdot q_u$ としている。設計法を二つのモデルに区分し(図-1)、浅層改良地盤と未改良地盤との二層系地盤において地盤係数法、多層弾性体の層構造法、有限要素法の3つをあげるとともに、地盤係数法の詳しい説明がなされている。また(1)と(5)にて、土のせん断強度が 0.1 kgf/cm^2 以下の超軟弱地盤では未改良地盤の変形係数とポアソン比の測定が困難としている。

(一社)セメント協会による地盤改良マニュアル((3)、(4)、(6)、(7))では浅層改良の設計方法が示されており、土のせん断強度 10 kN/m^2 を境にして地盤係数法ほかと極限設計法とに設計法を区分する記述がみられる。

深層混合処理工法の図書では、杭式改良地盤の設計において、改良体の断面形状にて改良幅 B と改良長 D を $B/D=0.5 \sim 1.0$ 以上とする記述⁸⁾があり、曲げ強度照査の必要がない形状とされている。

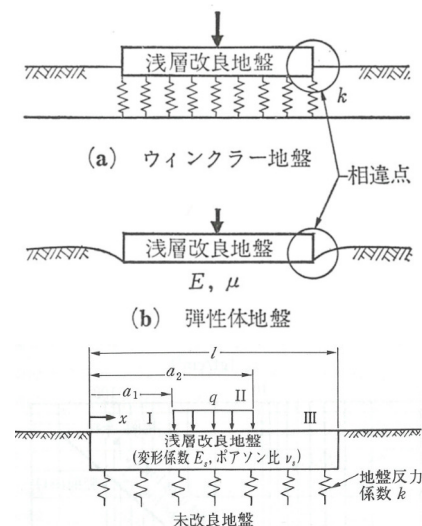
図-1 浅層改良の地盤モデル^{1,7)}

表-1 浅層混合処理工法に関する図書資料

番号	図書などの名称	発行者	発行日
(1)	土木建築技術者のための最新軟弱地盤ハンドブック	株式会社 産業技術サービスセンター	昭和 57 年 1 月
(2)	土質工学ハンドブック	社団法人 土質工学会	昭和 57 年 11 月
(3)	セメント系固化材による地盤改良マニュアル(一版)	社団法人 セメント協会	昭和 60 年 4 月
(4)	セメント系固化材による地盤改良マニュアル(二版)	社団法人 セメント協会	平成 6 年 8 月
(5)	地盤調査法	社団法人 地盤工学会	平成 7 年 9 月
(6)	セメント系固化材による地盤改良マニュアル(三版)	社団法人 セメント協会	平成 15 年 9 月
(7)	セメント系固化材による地盤改良マニュアル(四版)	一般社団法人 セメント協会	平成 24 年 10 月

コンクリート関連の図書⁹⁾¹⁰⁾には圧縮強度と曲げ強度の関係についての記述がみられ、「2012 年制定 コンクリート標準示方書[設計編]」((公社)土木学会)では無筋コンクリートの引張強度(f_{tk})と圧縮強度(f'_{ck})との関係を $f_{tk} = 0.23 \cdot f'_{ck}^{2/3}$ としているが、設計には原則反映しない。

繊維補強土では、短繊維混合補強土¹¹⁾、法面保護用に用いられている連続長繊維補強土¹²⁾、ジオテキスタイルを用いた補強土¹³⁾等があり、設計では圧縮強度またはせん断強度によって照査し、曲げ強度を用いた設計は行われていない。

キーワード：改良土 浅層安定処理 引張り強さ

連絡先 〒102-8236 東京都千代田区九段北4丁目2番35号 TEL 03-3265-2845

3. 既往の研究

昭和 50 年頃より行われた研究成果の多くが、表-1 の(1)や(5)に引用されている。同様の研究は、小泉泰通¹⁴⁾や内田一郎¹⁵⁾等にも行われている。吉田は曲げ強度試験時の破壊面を指定するために、角柱供試体(幅 4cm, 高さ 4cm, 長さ 16cm)の中央に切欠きを設け、曲げ試験を行っている¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾(図-2)。

(公財) 鉄道総合技術研究所では、セメント改良土をスラブに用いたコラムネット工法の研究がなされており、曲げ強度を用いるものがうかがえる。繊維補強材を混和材とするものもあり、ビニロン繊維を高圧噴射攪拌工法に用いるもの¹⁹⁾、ビニロン繊維を等厚式ソイルモルタル壁に用いるもの²⁰⁾等が報告されている。

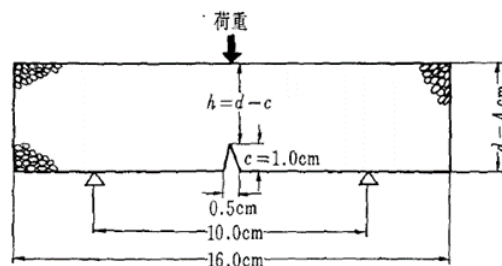


図-2 曲げ強度試験の供試体形状¹⁶⁾

4. 曲げ耐力の照査

固化系地盤改良工法における一軸圧縮強度と曲げ強度の関係を表-2 に整理した。すべての資料で一軸圧縮強度から曲げ強度を推定するものとしている。一軸圧縮強度試験の簡便性ととともに、現場施工管理に広く用いられている「土木工事施工管理基準及び規格値」関東地方整備局(平成 27 年 4 月)の影響も大きいと考えられる。

表-2 固化系地盤改良工法での一軸圧縮強度と曲げ強度との関係例

資料の名称	一軸圧縮強度と曲げ強度との関係
セメント系固化材による地盤改良マニュアル(一版)	$\sigma_b = (0.33 \sim 0.75) \cdot q_u$, $\sigma_b = (0.51, 0.65, 0.978) \cdot q_u$
陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版 ⁸⁾	$\sigma_{ta} = 0.15 \cdot \sigma_{ca}$, $\sigma_{ca} = q_u / F_s$
改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 ²¹⁾	$S_t = 0.192 \cdot q_u$
建築基礎のための地盤改良設計指針案 ²²⁾	引張は圧縮応力度の 20% かつ 200kN/m ² 以下
D J M Q & A 集, D J M 工法技術マニュアル ²³⁾	$\sigma_t = 0.2 \cdot q_u^{0.706}$
ジェットグラウト Q & A, ジェットグラウト工法 技術資料(第 23 版) ²⁴⁾	砂質土で $\sigma_t = 0.1 \cdot q_u$, 粘性土で $\sigma_t = 0.2 \cdot q_u$

5. まとめ

弾性床土上の梁理論とも称される地盤係数法²⁵⁾は、曲げ強度の評価が可能なことから浅層改良盤の曲げ照査に有効な手法と考えられる。しかし、原地盤の地盤反力係数の評価が難しい場合も多く、実務においても容易に利用可能な簡便法の提案が求められる。

極限設計法については明確な曲げ強度の評価方法がみられず、あらためて整理する必要があると考えられる。

有限要素法は広く普及しつつあるが、簡便な設計法が用いられている浅層改良盤の設計においては、ソフトウェア操作の熟練や入力条件への理解などを考慮すると、実務レベルでは多くのハードルがあり、周辺地盤への影響を考慮する等の限られた場合になると考えられる。

浅層地盤改良における浅層改良盤の曲げ評価においては、調査した結果などを参考として、 q_u を用いた簡便な照査方法の構築が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 土質工学ハンドブック：土質工学会, 1982.
- 2) 地盤改良のための AliCC 工法マニュアル：独立行政法人土木研究所編, 鹿島出版会, 2007.
- 3) AliCC 工法マニュアル 低改良率セメントコラム工法：国立研究開発法人土木研究所監修, AliCC 工法研究会編, 鹿島出版会, 2015.
- 4) 超軟弱地盤(ヘドロ)の土質改良工法と載荷試験・解析：吉田信夫, 土と基礎 VOL. 24, No6, pp49-55, 1976.
- 5) 超軟弱地盤の地盤反力係数と改良土の変形係数について：吉田信夫, 土木学会第 33 回年次学術講演会講演概要集, pp306-307, III-162, 1978.
- 6) 固化土の圧縮強度と曲げ強度：宇野尚雄, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp190-191, III-26, 1980.
- 7) 地盤調査法：地盤工学会, 1995.
- 8) 陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版：土木研究センター, 2004.
- 9) 改訂新版コンクリート技術 100 講：村田二郎, 山海堂, 1993.
- 10) 建設材料学(第五版)：樋口芳朗ほか, 技報堂出版, 1997.
- 11) 短繊維混合補強土工法利用技術マニュアル改訂版(暫定)：ハイグレードソイル研究コンソーシアム, 2009.
- 12) ロービングウォール設計・施工マニュアル：長繊維緑化協会, 2013.
- 13) ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル第二回改訂版：土木研究センター, 2013.
- 14) セメントスラリーの軟弱地盤への適用について：小泉泰通ほか, 第 12 回土質工学研究発表会講演集, pp1289-1292, 327, 1977.
- 15) 安定処理したヘドロの諸力学特性(その 2)：内田一郎ほか, 第 12 回土質工学研究発表会講演集, pp1321-1324, 335, 1977.
- 16) セメント安定処理路盤の改良(小特集)土質安定処理工法：吉田信夫, 土と基礎 VOL. 22, No5, pp43-46, 1974.
- 17) 安定処理土の曲げ引張強さについて(試験法の整理と若干の考察)：吉田信夫, 第 11 回土質工学研究発表会講演集, pp491-492, 126, 1976.
- 18) セメント系土質安定処理剤の改良に関する研究(第 1 報)：吉田信夫ほか, 第 13 回土質工学研究発表会講演集, pp653-656, 164, 1978.
- 19) 繊維補強した地盤改良体の静的力学特性に関する基礎的検討：山田淳夫ほか, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, pp937-938, III-469, 2010.
- 20) 高性能繊維補強固化体の改良強度：田中俊平ほか, 第 37 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp823-824, 414, 2002.
- 21) 改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針：(財) 日本建築センター, p46-47, 2002.
- 22) 建築基礎のための地盤改良設計指針案：(社) 日本建築学会, p35, 2006.
- 23) D J M 工法技術マニュアル：D J M 工法研究会, p18, 2010.
- 24) ジェットグラウト工法 技術資料(第 23 版)：日本ジェットグラウト協会, p21, 2015.
- 25) フローリンの土質力学 第 I 巻：赤井浩一監修, 大草重康訳編, 森北出版, pp209-253, 1969.