

RRR 工法協会だより

Reinforced Railroad/road with Rigid Facing Construction System

No. 14 2003. 08

ジオテキスタイル補強材のクリープ補正係数について

東京大学 龍岡 文夫

1. はじめに

裏込め盛土をジオグリッドのようなジオテキスタイルで補強して剛な一体壁面工を段階施工法で建設する擁壁は、既に 70 km 以上も建設されている。従来形式の重力式や L 型・逆 T 型 RC 拥壁等よりも建設費が低い一方、構造物としての崩壊例はもとより変状の事例はこれまで全くない。これは、特筆すべき技術的な達成であると思う。このような実績にも拘わらず、高分子材料であるジオテキスタイルを補強材として用いることに対する基本認識にはまだ問題が残っている。即ち、「補強材としては本来金属製が優れているが、ジオテキスタイルも次善の補強材として何とか使用できる」と言う認識がまだ多いようである。それに対応して、ジオテキスタイル補強材の設計強度の決定法には、まだ課題が残っている。以下、この点を考察する。

2. 金属製補強材とジオテキスタイル補強材の長所と欠点

金属製補強材の長所は、ジオテキスタイル補強材よりも材料としての引張り剛性・破断強度がはるかに高くクリープ変形も低い。欠点は、帯状であると盛土との接触面積が小さくリブをつける等の工夫をしているが、総じて引き抜け抵抗が小さく、引張り強度に見合う引き抜け抵抗を確保するための補強材長は大きくなる。更に透水性が無いので、盛土内に浸水がある場合は補強材表面が水道（みずみち）になり正の間隙水圧が発生して摩擦抵抗が低下して、引き抜け破壊が生じ易くなる。また、盛土内の水分に接すると錆びやすい。これらの理由により、含水比が高くなりがちな粘性土を盛土材として用いることが出来ない。

ジオテキスタイル補強材の長所と欠点は、上記の金属補強材の長所と欠点の裏返しである。即ち、長所は面状の補強材であるのが普通なので盛土材との接触面積が大きいため、一般に引き抜け抵抗は大きく必要な補強材長が相対的に小さい。ジオグリッドは特に盛土との馴染みが良いので、細粒分を含む原位置発生土を盛土材として使用できる。引張り補強材としての繊維を排水材としての不織布でサンドイッチにした複合材（composite）を用いれば、高含水比粘性土でも盛土材として使用できる可能性が出てくる。欠点は、材料としての引張り剛性・破断強度が相対的に低いことである。しかし、そもそも盛土の剛性の方が遥かに低いのである程度以上の剛性を持っていれば十分であり、むやみに大きな剛性を持っていても構造物の最終耐力も増加しない（Peng et al., 2000）。また、建設中の壁面前方への変形は補強材層の総剛性が低いほど大きいが、壁面工を段階施工で建設する工法では、この変形は構造物の不安定に至らなければ多少生じても問題とはならない。従って、ジオテキスタイルの剛性が相対的に小さいことは殆ど問題にならない。問題となるのは、供用開始後に大きな長期残留変形が生じる場合であり、更に補強材がクリープ破断する場合である。従来このことが強く認識されてきて、新品のジオテキスタイル補強材の「1.0 % 程度のひずみ速度で通常の引張り破断試験で測定し

た引張り強度の最低保障値」 T_{sh} を次式で求めている（図-1 参照）。

$$T_{\text{sh}} = RF_{\text{ld}} \cdot RF_{\text{d}} \cdot RF_{\text{rc}} \cdot T_{\text{sh}} = RF_{\text{ld}} \cdot RF_{\text{d}} \cdot RF_{\text{rc}} \cdot (F_s)_{\text{allowable}} \cdot T_{\text{ref}} \quad (1)$$

ここで、 $T_{\text{sh}} = T_{\text{sh}}(F_s)_{\text{allowable}}$ であり、 T_{sh} は補強土構造物の安定に必要な補強材引張り強度、 $(F_s)_{\text{allowable}}$ は構造物の全体の安定に対する安全率である。 $RF_{\text{ld}} \cdot RF_{\text{d}} \cdot RF_{\text{rc}}$ は、合わせて材料安全率と呼ば

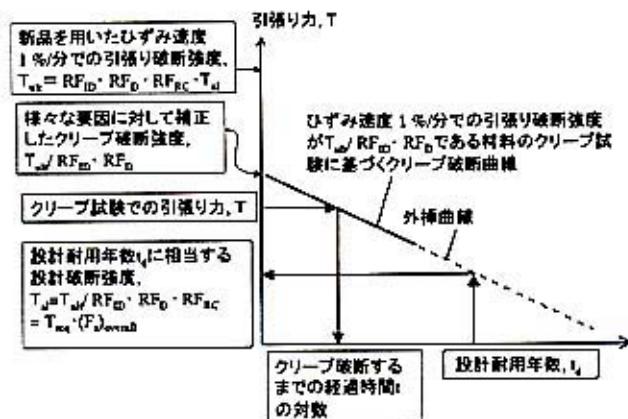


図-1 ジオテキスタイル補強材のクリープ破断曲線とクリープ破断補正係数

れている。 RF_{ld} は施工時の損傷を考慮した補正係数（1.0 以上）、 RF_{d} は長期的な化学的・生物学的な劣化に対する補正係数（1.0 以上）、 RF_{rc} は長期的なクリープ破断を防ぐための補正係数（1.0 以上）である。 RF_{rc} は、図-1 に示すようなクリープ破断曲線に基づいて求める。即ち、「1.0 % 程度のひずみ速度で通常の引張り破断試験で測定した引張り強度が

$\frac{T_{\text{sh}}}{RF_{\text{ld}} \cdot RF_{\text{d}}}$ 」である場合、ある引張り荷重 T で長期クリープ試

験を行い時間 t でクリープ破断が生じたとする。異なる引張り荷重 T でクリープ試験を行ってクリープ破断曲線を求める。50 年のような構造物の設計耐用年数 t_d のクリープ破断強度を直接求めるることは出来ないので、実験で求めた関係を外挿して t_d に対する「設計クリープ破断強度 $T_d = \frac{T_{\text{sh}}}{RF_{\text{d}} \cdot RF_{\text{rc}}} \cdot \frac{1}{t_d}$ 」を求める。 RF_{rc}

は小さい値ではない。我が国では、ポリエスター 1.64、ポリプロピレン 1.67、HDPE（高密度ポリエチレン）1.67 程度であるが、Elias and Christopher (1996) は次のようなかなり大きな値を提案している：ポリエスター 1.6~2.5、ポリプロピレン 4.0~5.0、HDPE（高密度ポリエチレン）2.6~5.0。

RF_{rc} を用いる上記の方法は欧米では確立した感があり、我が国でも基本的に採用されている。しかし、筆者はこの方法の妥当性に疑問を持っている。まず、クリープ変形する可能性があるからと言って設計引張り強度を低減する必然性はない、と考えている。更に、この方法は以下の重要な二つの誤解を招きやすい。

- 1) クリープは、材料の劣化現象である
- 2) ジオテキスタイルの引張り破断強度は、構造物の供用年数

が増えるほど減少する。
以下、これらの点を検討する。

3. ジオテキスタイルのクリープ変形について

3.1 スタイル補強材のクリープ変形

ジオテキスタイル補強材が金属製補強材よりもクリープ変形しやすいと言っても、盛土自身の方がクリープ変形しやすい。つまり、補強土構造物のクリープ変形が問題になる場合、補強材のクリープ変形特性だけを問題にするのはおかしい。特に、盛土天端での長期残留沈下は盛土材料自身のクリープ変形特性に支配されていて、補強材の剛性が幾ら高くてもクリープ変形性が全く無くとも生じる。

また、一般的に常時の補強土構造物全体の破壊に対する実質的安全率($F_{\text{overall, safe}}$)が低いほど、盛土及び補強材のクリープ変形が生じやすい。我が国では耐震設計が必須であることから、常時の安全率は通常は十分に高い。更に、通常は盛土を良く締めかためている。特に、ジオテキスタイル補強材を30cm間隔で設置する場合は、盛土を良く締めることができる。この要因を考慮しない安全側の措置として、盛土の設計せん断強度として低めの値である残留時のせん断強度を通常採用している。このこと、補強土構造物の実質的な安全率を高くしている。これらのことから、ジオテキスタイル補強土でも補強材のクリープ変形が大きすぎると言うことが問題になることはまずない。

3.2 クリープ変形は劣化現象か？

「ジオテキスタイル補強材はクリープ変形によって劣化する」という命題が間違っていることを示すデータは、かなり存在する。図-2が典型的な例であり、一定のひずみ速度での単調載荷試験の途中でクリープ載荷した後再び同じひずみ速度

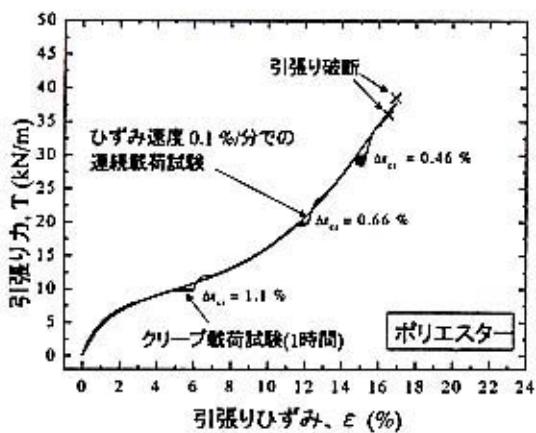


図-2 クリープ履歴が破断強度に影響を及ぼさない実験例
(Hirakawa et al., 2003)

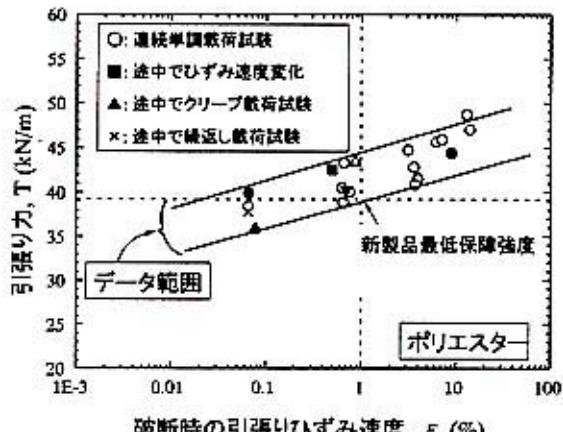


図-3 引張り破断強度と破断時引張りひずみ速度の関係の例
(Hirakawa et al., 2003)

で単調載荷試験を再開すると直ちに元の荷重～ひずみ関係に復帰して、最終引張り破断強度はクリープ載荷の履歴の影響を受けていない。これらのデータをまとめたのが図-3であり、引張り破断強度は破断時のひずみ速度によって決定されている。つまり、ジオテキスタイル補強材の引張り破断強度はクリープの履歴の有無には関係がない。

なお、補強材の長期劣化としては、金属製補強材では錆び、高分子ジオテキスタイルではUV曝露による劣化が最も問題である。図-4は8年間補強土橋台の盛土内で用いられたジオグリッドの引張り破断強度を新品のものと比較したものであるが、この場合は全く劣化していない。



図-4 8年間使用した補強材の引張り破断強度と破断時引張りひずみ速度の関係の例(Hirakawa et al., 2003)

3.3 クリープ変形する潜在的な可能性があるからと言って、設計引張り強度を構造物耐用年数に応じて低減する必要があるか？

まず、供用中のジオテキスタイル補強材の長期に亘る張力は、次の三つの要因によって決定される。

- 1) 盛土自重や外荷重によって生じる盛土自身の水平方向のクリープ伸び変形に伴うジオテキスタイル補強材の伸び。
- 2) ジオテキスタイル補強材に作用する張力による盛土の水平方向のクリープ圧縮変形に伴う補強材の収縮。
- 3) ジオテキスタイル補強材が粘性を持つことによる応力緩和現象による補強材張力の時間的減少。

即ち、補強材のクリープ変形の進展とクリープ破壊は、常時の補強土構造物の破壊に対する実質的安全率($F_{\text{overall, safe}}$)が低いために上記1)の要因が2), 3)の要因を凌駕する場合に生じる。その場合時間と共に補強材張力が増加する場合もあり、その場合は補強材のクリープ破壊の可能性が特に高くなる。しかし、前述のように耐震設計をしていて盛土の設計せん断強度を低めに設定していれば、補強土構造物の実質の($F_{\text{overall, safe}}$)は十分に高く、1)の要因が2), 3)の要因を凌駕する可能性はまずない。この場合は上記2), 3)の要因が優勢になり、補強材張力は長期に亘って減少する可能性が高い。この場合は、クリープ破壊の可能性はほとんど無くなる。実際に、これまでジオテキスタイル補強土構造物がジオテキスタイルのクリープ破壊が生じることによって崩壊した実例は、筆者の知る限りゼロである。

そもそも、通常の構造物の基礎でも長期にクリープ沈下が生じる(例えば、明石海峡大橋の基礎)。また、盛土やロックフィルダムでもクリープ変形は生じる。しかし、通常はクリープ変形がある場合でもクリープ破壊の危険がないと判断して、土の設計せん断強度をクリープ補正係数を適用して低減しない。安全率($F_{\text{overall, safe}}$)が低くてクリープ破壊の危険がある場合に限って、クリープ補正が必要となる。典型的な場合は、斜面のクリープ変形に伴うすべり破壊である。これらのこととは、鉄筋コンクリート構造物でも同様である。

以上のことから、クリープ変形の潜在的な可能性があるからと言って、設計引張り強度を構造物耐用年数に応じて低減する必然性は無いことが了解できる。

3.4 ジオテキスタイル補強材の設計破断強度の新しい決定法

以上のことから、以下のような方法が提案できる。即ち、常にジオテキスタイル補強材がクリープ破断することは通常はないことを前提にして、ジオテキスタイル補強土構造物の二つの主要な材料である盛土材とジオテキスタイル補強材に対して同一の設計体系とする。

- ジオテキスタイル補強材の設計引張り破断強度は「破壊時ひずみ速度」の関数として、構造物の耐用年数の関数とはしない。

図-5は、地盤や盛土等の土構造物がクリープ破壊をしない場合の土の設計せん断強度決定法を模式的に示したものである。即ち、地盤・土構造物の安全率を保証するために必要な土のせん断強度を τ_{req} として構造物全体の安全率を $(F_s)_{overall}$ とする。想定した破壊時ひずみ速度に対応する設計せん断強度は τ_{req} は $\tau_{req} \times (F_s)_{overall}$ の値である必要がある。「耐用年数 t_d に相当するクリープ破壊せん断強度」が τ_{req} よりも大きければ、クリープ補正係数を適用しない（実際は、これを暗黙のうちに実施している）。

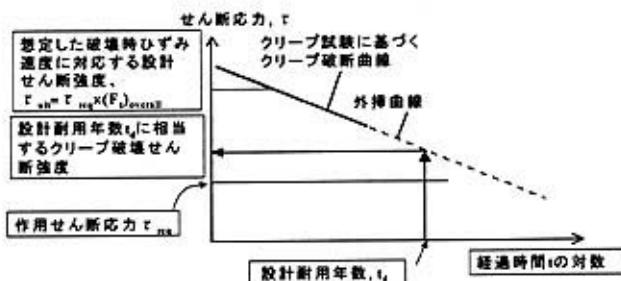


図-5 土のクリープ破壊曲線と設計せん断強度

- ジオテキスタイル補強材に対する上記と並行的な方法は、図-6に示す方法となる。即ち、Two wedge法などの適切な極限釣り合い法によって「構造物の常時の安全性を確保する為に必要な引張り破断強度 $(T_{req})_{static}$ 」×「常時構造物安全率 $(F_s)_{overall, static}$ 」を求める。地震時に対して同様な値 $(T_{req})_{seismic}$ ×「地震時構造物安全率 $(F_s)_{overall, seismic}$ 」を求める。大きな方の値を必要引張り破断強度 T_{req} とする。
- 想定した破壊時ひずみ速度での必要な引張り破断強度を次式で求める。

$$T_{req} = RF_D \cdot RF_D \cdot T_{req} = RF_D \cdot RF_D \cdot (F_s)_{overall} \cdot T_{req} \quad (2)$$
- 耐用年数 t_d に相当するクリープ破壊強度が、常に引張り補強材に作用する引張り荷重 $(T_{req})_{static}$ よりも大きいことを確認する。確認できない場合は、(1)式に従う。

【会員紹介】

名工建設株式会社

名古屋市の西南部地域は、鉄道交通網が不十分な地域であり、自動車やバス等により移動せざるを得ず、交通混雑が著しい地域となっている。こうした状況を背景として、西名古屋港線の旅客化事業が進められている。

当社はこの鉄道新線事業の電車基地を構築する工事と軌道工事を受注し、現在（平成15年6月）、工事の最盛期を迎えております。

当工事現場では、本線高架橋から電車基地に入ってくるアプローチ構造物に補強盛土（RRR工法）が採用されましたので紹介いたします。

今回の補強盛土箇所（延長91.9m・幅員55m・高さ2.4m・~5.4m・列車荷重M-15）は、沿岸埋立地のため支持力確保の

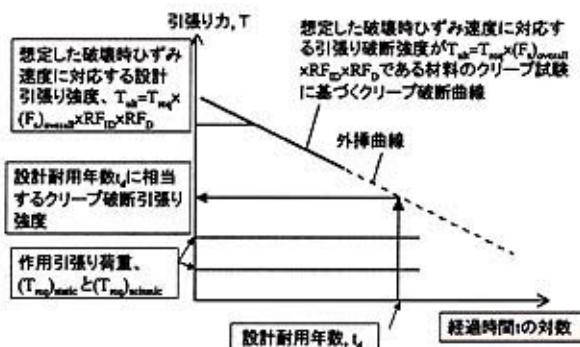


図-6 新しく提案するジオテキスタイル補強材の設計引張り破断強度

この方法によると、(1)式のようにしてクリープ破壊に対する補正係数によって設計引張り強度が決定されない可能性が高くなる。

4.まとめ

(1)式の使用は、出来るだけ早く止めるべきであると考える。特に、地震時のジオテキスタイル補強土構造物の破壊は補強材のクリープ破壊によって生じるのではない。しかし、(1)式の方法を機械的に耐震設計に用いると構造物の耐用年数が長いほど耐震設計に用いる設計引張り破断強度が低下することなる。これは、不合理である。

なお、ジオテキスタイル補強土構造物の長期残留変形は必要に応じて推定する必要がある。また、地震時にはジオテキスタイル補強材のひずみが増加することが知られている。これは、繰返し載荷効果による補強材の軟化によって生じるのではなく、地震時の引張り荷重の増加によって生じる。これらの話題は、別途論じたい。

参考文献：

- Elias,V. and Christopher,B.R., 1996, "Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes, Design and Construction Guidelines", Publication No.FHWA-SA-96-071, FHWA, US Department of Transportation.
 Hirakawa,D., Kongkitkul,W., Tatsuoka,F. and Uchimura,T. (2003): Time-dependent stress-strain behaviour due to viscous property of geosynthetic reinforcement, *Geosynthetics International* (accepted).
 Peng,F.L., Kotake,N., Tatsuoka,F., Hirakawa,D., and Tanaka,T. (2000): Plane strain compression behaviour of geogrid-reinforced sand and its numerical analysis, *Soils and Foundations*, Vo.40, No.3, pp.55-74.

必要があり、盛土下部に深層混合処理工（Φ1000mm・L=10.0m）を施工しました。

また、盛土材は良質の購入土を使用し、溶接金網による仮抑え工法で施工しました。写真は高架橋から補強盛土と車両基地全体を見下ろした状況であります。今後、完成に向けて無事故無災害で施工して行く所存です。



（土木部 田中 祥二）

株式会社 新井組

新井組は「創 ing Tomorrow」をメッセージに、明日に向けて創造的に前進する総合建設会社で、本社は兵庫県西宮市と東京都渋谷区にあります。

当社では、強みを活かすビジネスの展開を図るために、保有技術を売り込む専門セクションを立ち上げ、環境・技術営業に力を入れています。シールド掘進機を再利用するDSR工法、現場発生土を盛り詰め固めて構造物を築造するPRISM(PL/PSと類似の原理による)、巨礫層ほか複合地盤でも長距離推進可能なK-1推進工法ほか、展開中の新工法は一通り実施工を終えています。

これらのなかでPRISM(特許取得)はPRISMで施工中の防災堤RRR工法との関連が強いので、営業活動または技術提案で密接なつながりを持ちたいと考えております。よろしくお願いします。

(環境・技術営業部 北野 靖行)

株式会社 森本組

当社は、明治3年(1890年)の創業以来、「建設業を通じて社会に貢献する」という企業理念のもと、社会のニーズに適格に応えられますよう、「敏速・技術・誠意で顧客満足」を実践して、豊かな社会建設とともに、土壤浄化調査、診断から浄化・モニタリングおよび地盤改良の必要な推進坑口ECエントランスなど、環境保全活動にも積極的に取り組んでおります。



当社におけるRRR工法は、関西国際空港への主要アクセスでもある南海本線の連続立体化工事において、大阪府泉大津市で施工しております。連立高架事業のうち、当工区は擁壁基礎の杭打設が不可能な場所であるため、橋台までの取り付け盛土部をRRR工法による補強盛土工(延長58m)で施工いたしました。今後、軌道切替えを順次行い、平成20年度までに延長188mの施工を予定しております。

(建設総本部土木部土木課 酒井 直二)

【事務局だより】

平成15年度 定時総会を開催いたしました

平成15年6月3日に八重洲富士屋ホテルにおいて、定時総会を

※現場紹介は紙面の都合で割りあわせていただきます。

【編集委員名簿】

委員長：宮崎啓一(西松建設(株)) 幹事：田村幸彦((株)複合技術研究所)

委員：森田浩二(前田建設工業(株))・小林利章((株)クラレ)・西村淳(三井化学産資(株))

【協会事務局】

〒107-0052 東京都港区赤坂2-15-16(赤坂ふく源ビル7F) - (株)複合技術研究所内-

電話 03-3589-6163 FAX 03-3582-3509 ホームページ・アドレス <http://www.RRR-SYS.GR.JP>

ユニチカファイバー株式会社

当社は、平成11年にユニチカから独立して、ナイロン、ポリエチレン、ポリ乳酸、などの化学合成繊維の糸、綿、織物、加工品の製造販売を行っています。

RRR工法用ジオテキスタイルとしてはユニチカ時代に登録した高強度ビニロン繊維を用いた30、60、100kN/mクラスのグリッド材料を提供します。 施工例「セグローバ・」

現在、地球環境に優しい自然循環素材「テラマック」の生分解性土木・建設資材などの商品展開を行っています。

また多自然型川づくりをめざす立体編物の河川浸食防止シート「セグローバ・」は国土交通省河川研究室と共同研究を行い、(財)土木研究センターの性能評価報告書(侵食証第0001号)を取得しました。

今後ともに、新たな繊維の可能性を夢見て、実現に全力を傾けて行きたいと思っています。

(繊維資材営業部 森口 芳文)

三井住友建設株式会社

当社は、平成15年4月に、合併により新たなスタートをきりました。本誌をお借りして、ご報告いたします。

平成17年開通予定のつくばエクスプレス(常磐新線)の建設プロジェクトでは、当社も工事の施工に参画いたしました。そのうち、



つくば市の島名工区を紹介いたします。この工事では、延長1km、深さ2~10mのU型擁壁を構築しました。RRR工法により1:0.35の勾配で掘削した切土法面にコンクリートを直打ちしています。この工事の特徴は、型枠に大型移動式支保工を導入したことあります。これにより、大幅な工期の短縮に成功し、天然記念物であるオオタカの繁殖時期を避けて施工する工程上のハンデを克服することができました。

(土木設計第一部 小出 孝明)

開催致し、議案はすべて原案とおり可決承認されました。

また、住友建設㈱・東洋紡績㈱が退会され当協会会員は正会員42社、準会員30社 計72社となりました。