

28. シールド施工におけるペーパードレン材の切削技術の開発

株式会社大林組 ○ 久田 英貴
 株式会社大林組 羽立 征治
 株式会社大林組 的場 一彦
 三菱重工メカトロシステムズ(株) 杉山 雅彦

1. はじめに

シールド工事においてペーパードレン材（以下PD材）により地盤改良を行った区間を施工する場合、PD材が施工の障害となるため、施工前にあらかじめ撤去するか施工時に切削撤去する必要がある。シールド機で直接切削撤去する場合、PD材の切断により過大な引張力が作用すると地盤改良した地盤を乱してしまい強度低下や地盤沈下を招く可能性がある。そのため切削を行う場合には、PD材へ作用する力を極力小さくする方法が求められており今回新たに開発した貫入式ブレードによる切削方法は、PD材切削時の引張力を小さく抑えることが可能であることを以下に述べる実験で確認できた。

本報告では、模型による実験から最適なブレードの刃先形状を選定し、またPD材へ作用する引張力とその周辺摩擦抵抗力の関係から、切削に伴う地盤への影響範囲を算定する方法を新たに提案するとともにその適用性について述べる。

2. 切削機構

貫入式ブレードによる切削方法は、シールド機がセグメント組立中などの停止中に機内側からブレードを突出させPD材を切削する方法である、この方法は、シールド機の Cutter 回転停止中にブレードを前方へ貫入させPD材を切削による周辺地盤への影響を最小限に抑えることができる。貫入式ブレードによる切断方法の概要図を図-1に示す。

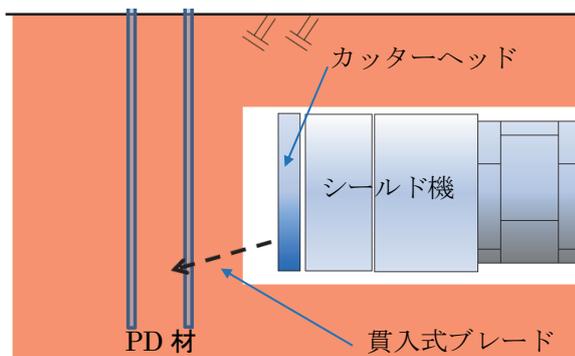


図-1 ブレードによるPD材切削概要図

貫入式ブレードの構造は、油圧ジャッキにて前後に貫入でき、シールド機隔壁部との取付部は球座構造を用いることにより自由に角度を変えることができ幅広い範囲のPD材切断が可能な構造となる。

また、引込機構と止水ゲートを装備することで、交換・点検を行えるような構造とする

図-2のブレードの詳細構造図を示す。

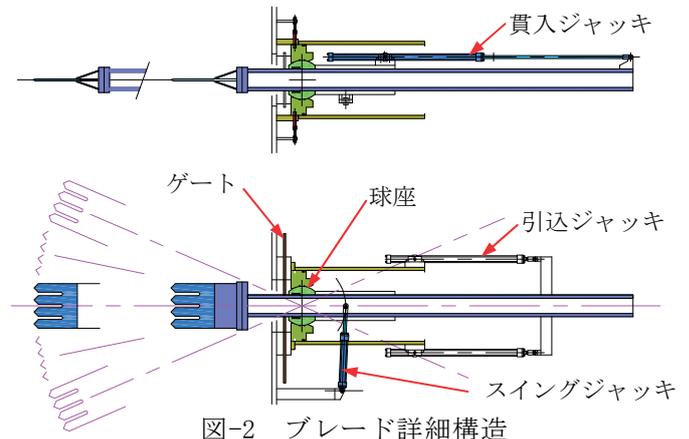


図-2 ブレード詳細構造

3. ブレード形状選定実験

3-1 実験概要

最適なブレード形状ならびに背面地盤による影響を検証するため工作機械のNC旋盤を用いた実験を行った。

写真-1に実験状況、図-3に概要図を示す。また、今回の実験で検討したブレード形状を図-4に示す。



写真-1 実験状況

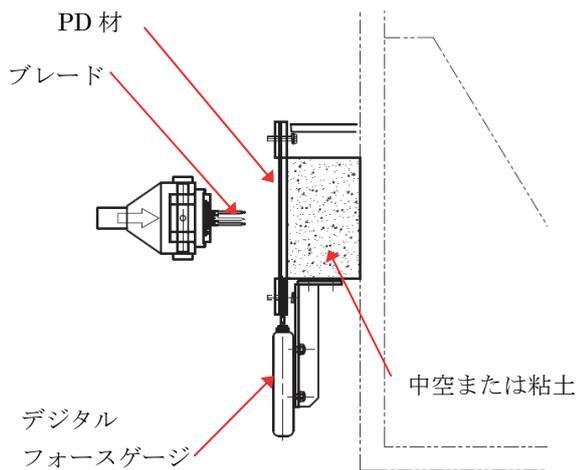


図-3 実験概要図

3-2 実験結果：ブレード形状による影響

PD 材をブレード材に正対するように配置し突出速度を 1,000 mm/min で一定とし切削を行った。その時に PD 材に作用した引張力の計測結果を図-5 に示す。

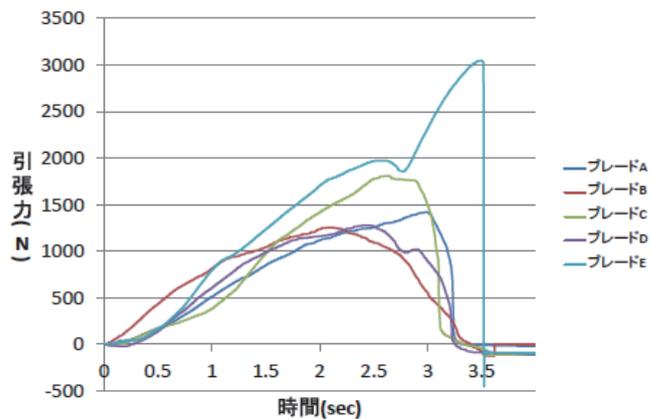


図-5 ブレード形状による比較

刃を 3 本設置したブレード A、C、D を比較するとブレード D が最も引張力が低い値のブレード B とほぼ同等であった。

これは、ブレード A、C は、D に比べ外側の歯が中央の刃より短いことが影響したと考えられる。

そこで、ブレードの刃を複数配置する場合は、同じ形状の刃を並べる方が引張力を低減できることが分かる。

また、5 本の針状の刃を用いたブレード E では、根元が刃になっていないため最終的に引張力が大きくなる傾向がみられた。これらの結果から最も引張力が小さくなるブレード形状は B であることが分かった。

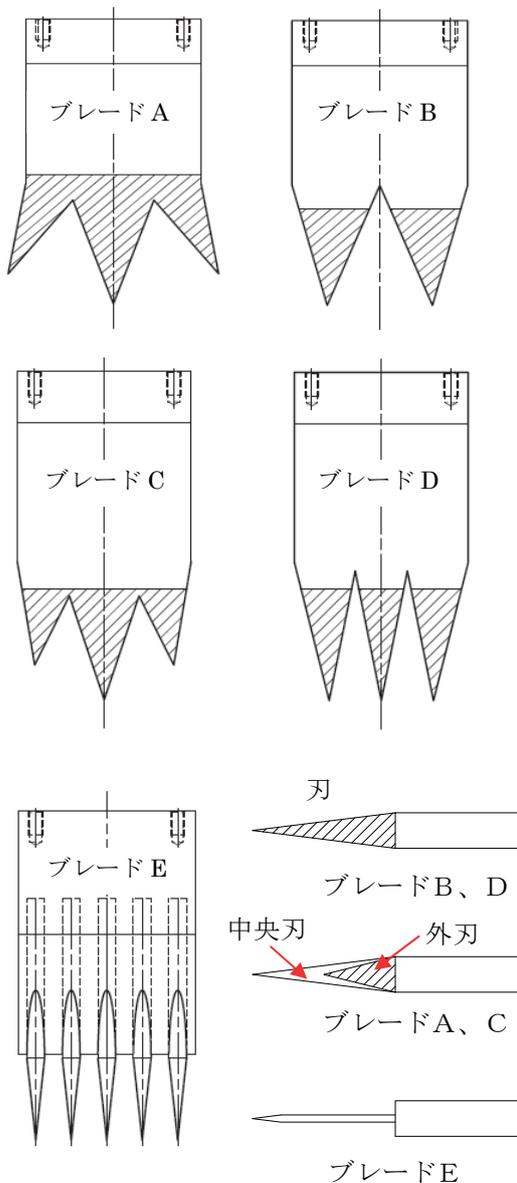


図-4 ブレード比較形状図

3-3 背面地盤の有無による影響

PD 材背面の地盤の影響を評価するため背面が中空の場合と油粘土を詰めた条件で切削した時の引張力の比較を行った。計測結果を図-6 に示す。

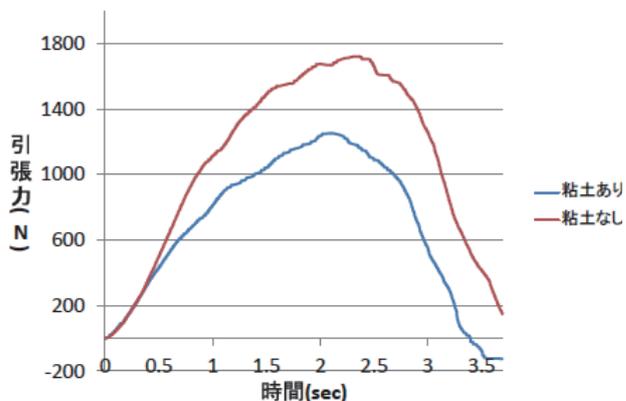


図-6 背面地盤の有無による比較

図-6の結果よりPD材の背面が中空よりも地盤がある方がPD材に作用する引張力が減少することが分かった。

4. 地盤を考慮した切削実験

4-1 実験の概要

PD材背面地盤の強度が切削時にPD材に作用する引張力に与える影響について実験を行った。切削実験の概略を図-7、写真-2にその状況、概要図を図-8に示す。

なおPD材は引張強度が異なる3種類の材料を用いてそれぞれについて切削時の引張力： F 、曲がり点からの距離： L および切削時の切込深さ： H について計測した。

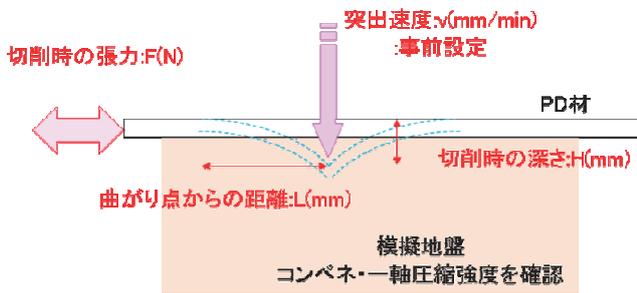


図-7 切削実験の概略図



写真-2 切削実験の状況

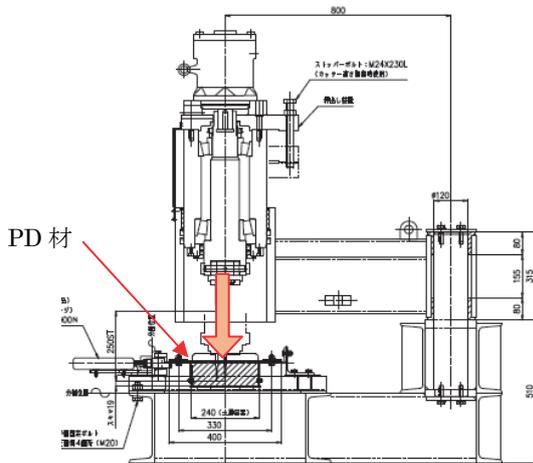


図-8 切削実験の概要図

4-2 実験結果

図-9に一軸圧縮強度と引張力との関係を示す。また、図-10および図-11にそれぞれ一軸圧縮強度と切込深さの関係、一軸圧縮強度と曲がり点距離の関係を示す。

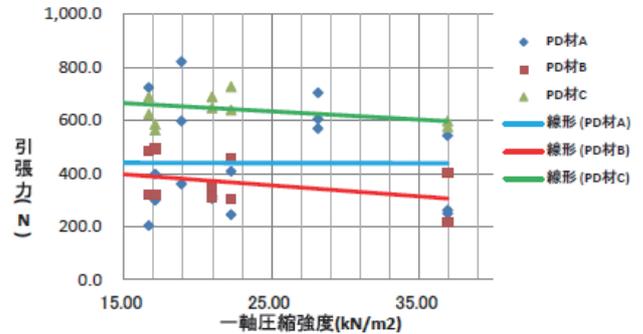


図-9 引張力と地盤強度の関係

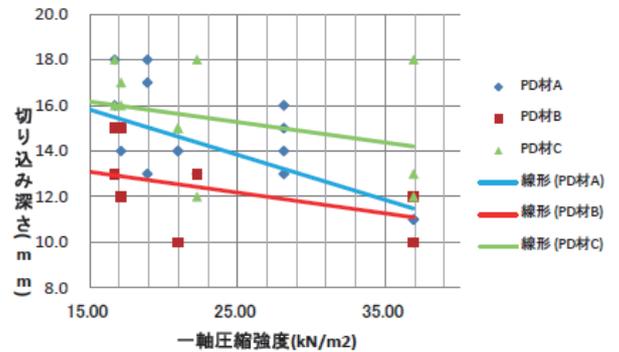


図-10 切込深さと地盤強度の関係

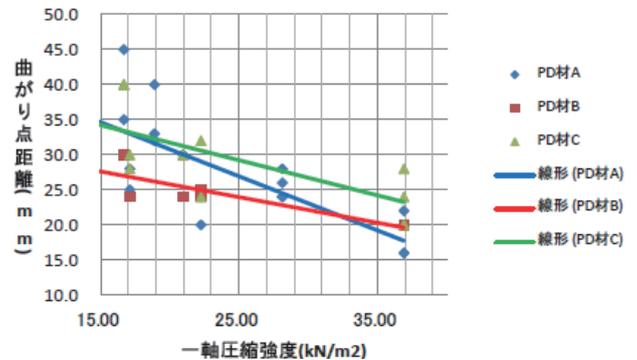


図-11 曲がり点距離と地盤強度の関係

図-9の最小二乗法により近似した直線を比較すると背面地盤の強度が増加すると引張力が減少する傾向がみられる。その減少量は、今回対象とした一軸圧縮強度の範囲ではその差は、100N程度であった。

同様に図-10の切込深さ、図-11の曲がり点距離について比較すると、一軸圧縮強度が増加するに従い、切込深さならびに曲がり点距離も減少する傾向がみられる。このことは、ブレードで切削する場合、PD材が設置されている地盤の強度が大きくなるに従い、切削時に影響を与える範囲が小さくなることを示している。

5. 切削時における影響範囲について

5-1 影響範囲の選定方法

ブレードによるPD材切削時のPD材変形の模式図を図-12に示す。

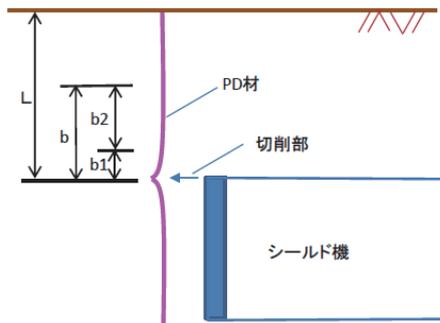


図-12 切削時のPD材変形の模式材

図中の b_1 は、曲がり点距離、 b_2 は、PD材切削時の引張力に抵抗するために必要な長さであり、式(1)で算出される。切削時にPD材が引き抜けないための最低必要長さを b とするとこれは、 b_1 と b_2 の和であらわされ、切削時の必要長さ La は、この最低長さ b に安全率 F_s を掛けた値として式(2)で算定する。

したがってシールド機内から切削するためのPD材の最小必要長と同様と考えることができる。

$$b_2 = T / (2fc \times c \times w) \quad (1)$$

$$La = F_s \times b \quad (2)$$

ここに、

La : PD材の長さ(m)

F_s : 安全率

b : 引き抜きに対するPD材必要長さ(m)

b_1 : 曲がり点距離(m)

b_2 : 引張力に抵抗するために必要な長さ(m)

T : 切削時にPD材に作用する引抜き力(kN)

fc : 土のせん断強さの換算係数(=0.7)¹⁾

w : 土の粘着力(kN/m²)

なお実験状況から、曲がり点までの周辺地盤は著しく乱されることが予想されるため長さ b_1 については引抜き抵抗力が作用しないと仮定する。

5-2 試算結果

PD材の切削によるシールド機からの影響範囲を検討するために試算を行った。試算条件として地盤の一軸圧縮強度を10、20、30 kN/m²の3種類とし、PD材の切削時に作用する引張力を0.8 kN、1.5 kNの2種類について検討を行った。

なお、曲がり点距離 b_1 は、ブレードの実験結果から得られた最大値の0.05m、安全率は2としている。図-13にPD材に作用する引張力とPD材の必要長さとの関係を示す。PD材に作用する引張力が大き

くなるに従い、PD材の必要長さが大きくなっている。

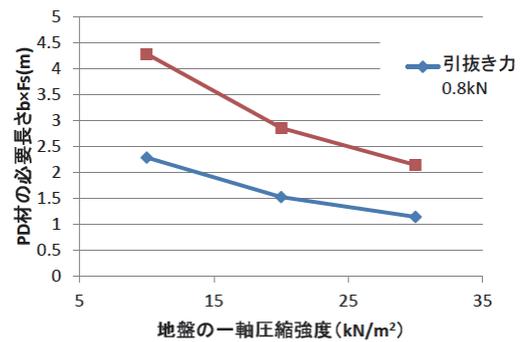


図-13 地盤の一軸圧縮強度とPD材の必要長さの関係

切削時に必要なPD材の長さは、地盤の一軸圧縮強度が大きくなるに従い、短くなるのが分かる。また、切削時に作用する引張力が小さいほどPD材の必要長さが短くなるため、今回開発した貫入式ブレードによる切削方法を採用することにより、PD材への影響を低く抑えて切削が可能であると考えられる。

6. まとめ

切削時に発生する引張力は最大で800N程度であり、発生する力の大きさも安定している。地盤が緩い場合や比較的土被りの浅い条件において、切削時の引張力を小さくし、シールド掘削による影響を最小にするためには最良の方法であると考えられる。

ただし、PD材の切削はシールド機の掘削が停止している時間を実施する必要があるため全体の施工サイクルへの影響を考慮する必要がある。

以上より、従来の方式とは異なる、貫入式ブレードによるPD材切削技術について適用性の検討結果を報告した。PD材で地盤改良された地盤を掘削する際には、PD材の切削力を小さく抑え、その改良地盤への影響を極力抑えることが重要である。あらかじめボーリング調査等によりトンネル計画位置の条件を確認する事により、土被りおよび地盤条件が既知であれば、本報告の貫入式ブレードによる切削方法およびその検証方法により地表面への影響を与えないPD材の切削方法を事前に検討できると考える。

参考文献

- 1) 嘉門雅史・和田秀俊(1995): ジオシンセティック水平排水材の工含水比粘性土盛土試験施工への適用, 京都大学防災研究所年報 第38号B-2

既論文発表先

第57回地盤工学シンポジウム

平成25年度土木学会 年次学術講演会