

ドレーン材埋設地山を泥水式シールドで掘進

EXCAVATION WITH SLURRY SHIELD DRENE MATERIALS BURIAL OF A GROUND

三浦政美¹⁾・木戸義和²⁾・直塚一博²⁾

Masami MIURA、Yoshikazh KIDO、and Kazuhiro NAOTSUKA

This construction does digging of the ground lower part that prepared land by filled land of coastal line area. But, as for fief board, the ground impronement materials to promote compaction subsidence was filled at the past, and it became clear beforehand to appear in tunnel section in digging.

I consulted fief board if did digging, and special cutting device was added and, using a shield machine, inspected it on the basis of various fundamental experiment, and, with what I examined closely, was able to complete the safety, execution.

This thesis is fundamental experiment described as above and a report about construction.

Key Words : drene materials cutter brede

1. はじめに

本工事は、湾岸地域の埋め立てにより造成した羽田国際空港滑走路下を、掘削外径 $\phi 7,150\text{mm}$ の泥水シールドで1,446m掘進することにより鉄道トンネルを構築するものである。

この埋め立て地には、圧密沈下を促進するための地盤改良材（ペーパードレーン、パックドレーン）が過去に埋設され、掘進中のトンネル断面内にも出現することが事前に判明していた。この様な軟弱地盤で、地盤改良材を切断・撤去装置付のシールド機を開発し本工事に採用した。

本編では、特殊切断月シールド機を用いた基礎実験および実施工でのドレーン材切断、回収その他施工管理について報告するものである。

2. 工事概要

本シールド工事は、現在空港周辺にある京浜急行羽田駅と、空港ターミナル地下を結ぶ都心とのアクセスを整備する京浜急行空港線延伸工事の内、現C（施工当時）、新A滑走路等の直下に、鉄道トンネル（上り線）を築造する工事である。

また、本工事は、前例のない供用中の滑走路、及びターミナルビルの直下に鉄道トンネルを目的として、特殊な装置を装備した泥水シールドで機で施工を行った。



図-1 全体平面図

1) 熊谷、西松、五洋、戸田、青木建設工事共同企業体
2) 正会員 (株) 熊谷組土木技術部シールドグループ

工事件名：東京国際空港鉄道トンネル築造工事（その2-1,2）

発注者：運輸省第二港湾建設局

工事場所：東京都大田区羽田空港内

工 期：平成6年7月～平成10年3月

シールド工の工事内容

シールド工法：ドレーン材切断装置付
泥水式シールド

掘削外径：7,150mm

セグメント外径：7,000mm

施工延長：1,446m（Ⅱ期工事1,226m）

最小曲線半径：R=50m

土被り：8.5m～16.2m

縦断勾配：-25‰

セグメント：RC平板型（幅1,200mm、厚さ350mm）

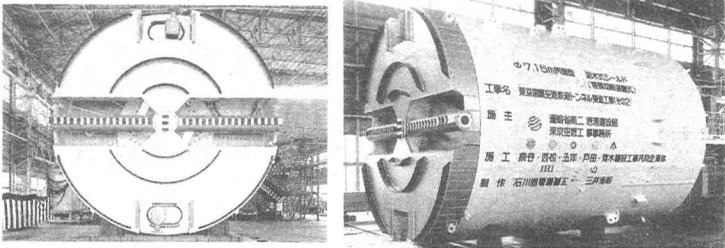


写真-1 シールド機

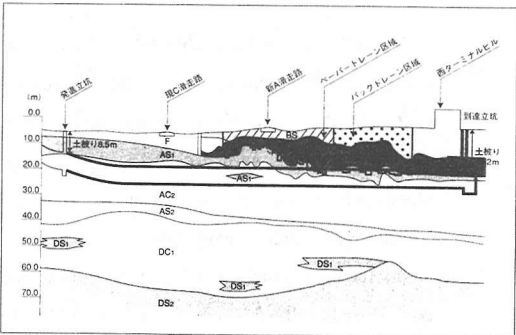


図-2 地質縦断面図

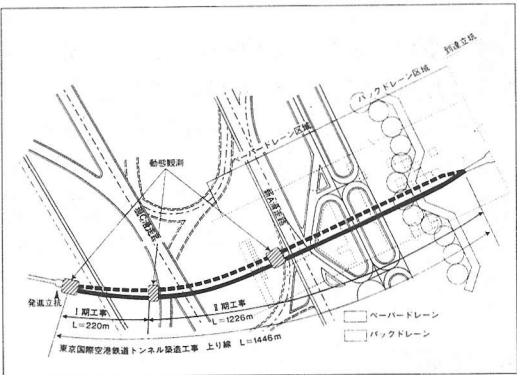


図-3 ドレーン材出現区間

3. 地質および施工条件

3.1 地形、地質条件

本トンネル工事の地質は大きく区分すれば、前半は、沖積粘土層（AC2）、後半は上半断面に地盤改良（ドレーン材）が施工されている沖積砂質層（AS1）下半断面に沖積粘土層（AC2）となっており、ほとんどがN値2～10という軟弱地盤の有楽町層である

本地山は、多摩川によって作られた河口部の厚い沖積堆積層上に、江戸時代以降人工的に埋め立て、現在に至っているものであり、この埋立地盤の圧密促進を図る目的でペーパードレーン、バックドレーンを用いて地盤改良が行われた。このドレーン材がトンネル断面に出現するため、本工事ではこれを撤去する対策が必要となった。

3.2 技術的課題

図-3にトンネル全断面に出現すると想定された地盤改良材（ペーパードレーン、バックドレーン）の出現箇所を示す。到達手前500m区間においてトンネル断面内に地盤改良材が出現し、一番長いものでペーパードレーン材はトンネル断面の上半断面に、バックドレーン材はトンネル全断面に出現すると考えられる。

本ドレーン材に関しては、地表面から建て込まれており、切断がうまく行われない場合、ドレーン材が地山とともに引き込まれるため、大きな地表面沈下をおよぼすことが懸念される。特に、本トンネルは供用中の滑走路等の直下掘進となり、地表面沈下を極力抑えるため、ドレーン材の切断・除去に関しては最も重要な課題となる。

表-1 ドレーン材の材質

	バックドレーン	ペーパードレーン	
		ジオドレーン	キャッスルボード
材質	ポリエチレン	ポリオレフィン樹脂 ポリエステル長繊維	高分子白成品
形状	網袋（φ120mm）で中に砂を詰め	プラスチックボードタイプ	ボードタイプ
厚さ		3.4mm	2.6mm
幅		95.8mm	94.0mm
引張強度	縦 115 kg 以上/5cm幅（2重） 横 90 kg 以上/5cm幅（2重）	175 kg 以上/製品幅	250 kg 以上/製品幅

過去の実験においては、ペーパードレーンとバックドレーンを比較した場合、ペーパードレーンの方が切断難易度が高いことが確認されているため、特にペーパードレーン区間の施工に関しては慎重な施工管理を行う必要があった。

4. 特殊切断装置付シールド機の開発

上記に述べた課題を解決するため、シールド機のカッター形状等に関しては、ドレーン材のからみつきのないような措置を講じるとともに、シールド機および切断装置、切断装置交換方法、ドレーン材除去装置等の開発を行った。

4-1 シールド機

4-1-1 カッターヘッド支持方式

当現場では、チャンパー内に取り込んだ切断後のドレーン材を排泥口より泥水と共に回収する方式としたため、カッターチャンパー内の突起物・障害物が無く、削土流動性が優れているセンターシャフト方式とした。このセンターシャフト方式の特徴を以下に示し、上記図-4にシールド機構造を示す。

- ① 切断されたドレーン材が、からみ付きにくくするため、円筒形構造のカッター支持とする。
- ② 面板強度を十分保つため、センターパイプによりカッターを支持する。
- ③ 高荷重に対する安全性も考慮し、軸受け寸法は従来の中間支持方式と同程度の軸受けとする。

4-1-2 カッター駆動方式

カッター駆動方式は、油圧駆動とし、ブレードカッター装置の交換作業のための機内スペースを確保した。

4-1-3 カッタービット

① 地山切削用ビット

本工事の場合、ビット間にドレーン材が絡みつき、切削機能が大幅に低下する可能性がある。これを防止するため、地山切削用ビットは、ビット間に隙間を開けない連続配置とした。図-5に地山切削用ビットの形状を示す。

② バックドレーン切断用ビット（先行ビット）

先行ビットは、バックドレーン材を分断可能な鋭角な刃先形状とし、カッター最外周部と内周側に間隔をもって配置した。

③ ペーパードレーン切断用ブレードカッター装置ブレード（薄刃）型カッター回転装置をカッター面板外周部2ヶ所に設置する。（図-4参照）一般土質部はメンテナンスホール（可動式）内に格納し、切羽を遮断した上で点検・交換が可能な構造とした。

4-2 ドレーン材切断装置の開発

4-2-1 ブレードの形状

従来より、ブレードの形状に関する実験が行われてきたが、従来の実験で使用してきたブレードは、ブレードチップがマス

（ブロック）形状のものであった。この結果、チップ先端部がR状に摩耗し、ドレーン材切断能力が著しく低下する事が確認されている。また、このブレードは掘削土を含む泥水中で高速回転を行うために、ブレードの母材が摩耗することによる耐久面での不足も指摘されてきた。これらの結果を考慮し、改良を加えたブレード形状を図-6に示す。

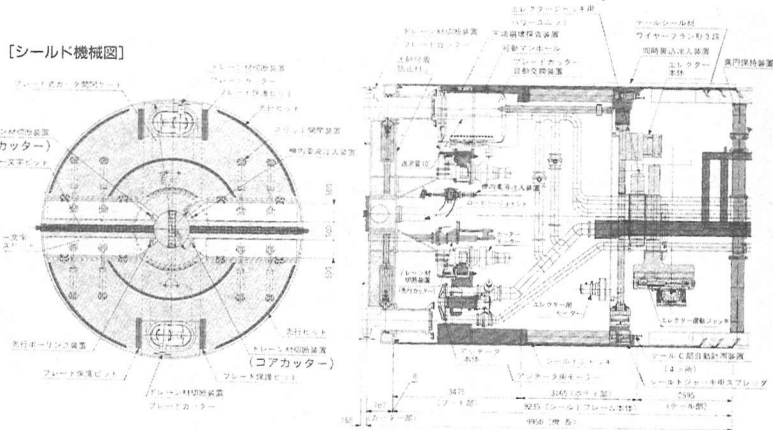


図-4 シールド機械図

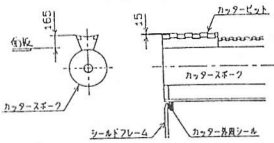


図-5 地山切削用ビット

また、改良点としては、

- ① チップをマス形状から針状形状のものを埋め込む方法とした。
- ② 材質を硬度の硬いものに変更した。
- ③ 母材の背面摩耗を防止するため、硬化肉盛を施した。

4-2-2 ブレードカッターの回転数と交換時間

本ブレードを使用し、実地盤を掘削する場合、ペーパードレンに対する切断能力、最適回転数および現場におけるブレード交換時期に関連するブレードの耐久性を確認する必要がある。

表-2にブレード回転数とドレン材の切状況の関係を、図-7ブレードの摩耗量とブレード稼働時間の関係を示す。これらの結果、ブレードの切断可能回転数は、400~500rpm、摩耗によるブレード交換時間90時間（摩耗量16mm）というデータを得た。

表-2 ドレン材切断結果

回転数 (rpm)	切断装置移動速度 (m/min)	初期張力 (kgf)	切断時張力 (kgf)	備 考
500	18.0	10	0	切断面良好
500	18.0	10	0	切断面良好
400	18.0	10	0	切断面良好
400	18.0	10	0	切断面良好
300	18.0	10	7.0	切断面不良
300	18.0	10	8.0	切断面不良
200	18.0	10	35.0	切断面不良
200	18.0	10	40.0	切断面不良

4-2-3 交換装置の検討

前節でも述べたが、ドレン材の掘削を行うに当たり、ブレードカッターの交換が必要となる。本シールド機には交換装置として、メンテナンスホールを設置した。その形状を図-8に示す。このメンテナンスホールの課題は、泥水圧（約2.0kgf/cm²）に対する止水性の確保である。そこで、図-9に示す実験装置を用いて、水圧4.0kgf/cm²を作用させ止水性を確認した結果、良好な結果を得た。

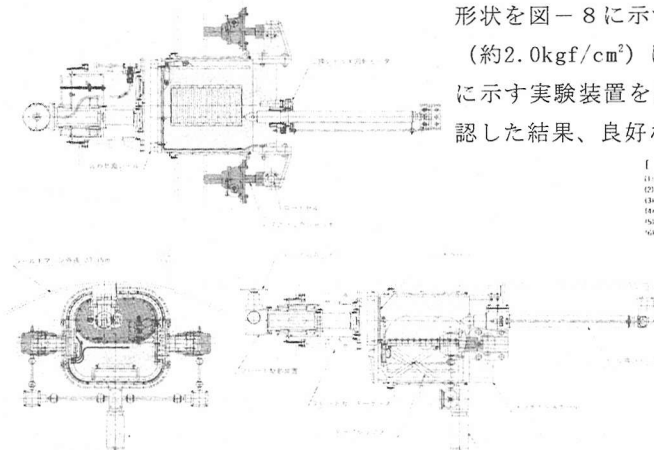


図-8 メンテナンスホール

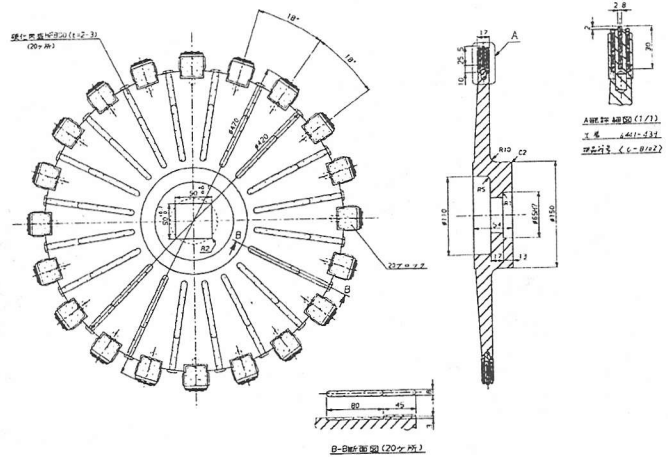


図-6 ブレードカッター

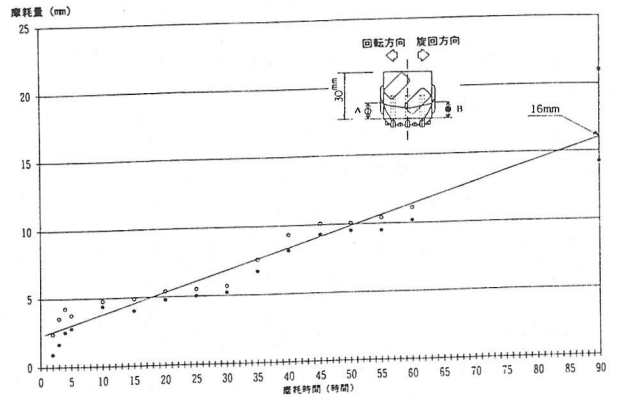


図-7 摩耗量グラフ（実験結果）

【実験項目】

- (1) 止水性能試験
- (2) 止水性能試験
- (3) 止水性能試験
- (4) 止水性能試験
- (5) 止水性能試験
- (6) 止水性能試験
- (7) 止水性能試験
- (8) 止水性能試験
- (9) 止水性能試験
- (10) 止水性能試験

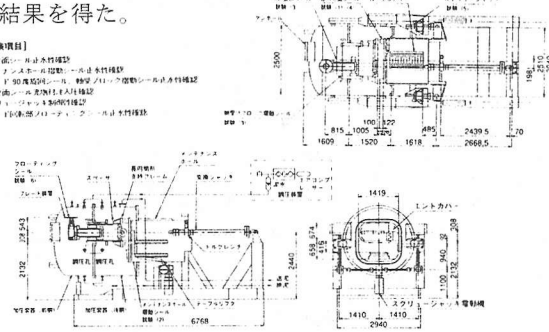


図-9 止水性確認実験

5. 施工前現地実験

5-1 ブレードカッターによる埋設ドレン材の切削撤去

5-1-1 ブレード回転数

シールド掘進速度を22mm/min、ブレードカッターの回転数を400rpmで設定し、除去装置より回収したドレン材の切り口を観察した。

実験時に良好に切断されたドレン材の写真を写真-2に、工事で回収したドレン材の写真を写真-3に示す。両者の写真を比較すると、回転数400rpmで切断したにも関わらず、工事で回収したドレン材の切断面は鋭利に切断されていない事が分かる。

これは、ブレードカッターの回転数が小さいためにドレン材を完全に切断できずに、引きちぎって切断しているためと考えられる。

この結果を踏まえ、回転数を500rpmに変更してドレン材の切断を行うものとした。この時のドレン材切断面の状況を写真-4に示す。この写真よりドレン材は期待通りに切断されていることが分かる。

5-2-2 ブレード摩耗量

ブレードカッターの摩耗量に関しても、事前実験条件と、実地盤条件で変化する可能性がある。

そこで、ドレン材埋設区間の手前でブレードカッターを稼働させ、その時の摩耗量と事前実験時の摩耗量を比較することで、実地盤におけるブレードの摩耗量と稼働時間の関係を把握した。

このデータを基にブレードカッターの交換時期を推定した。

ブレードカッターの稼働条件を表-3に、ブレードカッターの摩耗量を表-4に示す。なお摩耗量計測箇所の寸法が16mmを超えた場合は、針状に埋め込まれているチップが脱落してしまうことが事前実験において確認している。

実地盤における94時間時の摩耗量は、約6mmであった。これは事前実験時の24時間時の摩耗量に相当する。実地盤の許容摩耗量となる稼働時間は、事前実験値で90時間だったため、摩耗量と稼働時間は比例するものとして、

$T = 94\text{時間} \times 90\text{時間} / 24\text{時間} = 352.5\text{時間} (\approx 350\text{時間})$ となる。なお、回転数を500rpmにあげた場合は、

$T' = 350\text{時間} \times 400\text{rpm} / 500\text{rpm} = 280\text{時間}$ となり、これをブレードカッターの寿命時間と推定した。

本工事においては、ブレードカッターの全稼働時間は350時間であったため、途中1回交換を行い、計4枚（2枚×2枚）のブレードカッターを使用した。

5-2 ブレードカッター交換

図-10にブレードカッターの交換手順を示す。

交換は、ブレードカッターケースとメンテナンスホールとを合わせ面シールで一体化させて連結し、ブレードカッター装置を交換ジャッキで面板部からメンテナンスホールに引き込み後行うものである。合わせ面シ

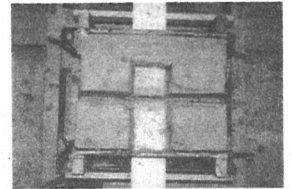


写真-2 実験時切断状況 (400rpm)

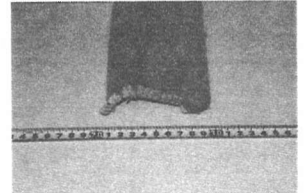


写真-3 現場施工時切断状況 (400rpm)

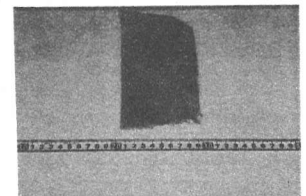


写真-4 現場施工時切断状況 (500rpm)

表-3 ブレードカッター稼働条件

ブレードカッター回転数	500rpm
平均ジャッキスピード	22mm/min
シールドカッター回転数	0.8rpm

表-4 ビット摩耗計測結果 (mm)

ビットNo	A	B
1	3.0	5.3
2	1.8	3.1
3	2.3	3.6
4	5.2	4.4
5	5.7	6.9
6	4.6	6.4
7	6.0	8.8
8	5.6	5.5
9	6.4	6.4
10	6.9	7.6
11	5.5	5.8
12	2.8	5.0
13	3.3	4.1
14	4.6	5.3
15	5.4	6.4
16	7.8	7.1
17	6.3	7.1
18	6.3	6.9
19	9.0	9.0
20	5.6	8.1
平均	5.2	6.1
A, Bの平均	6	

ール等からの漏水は無かった。ブレードカッター 1 台を収納、ブレード交換に要した時間は12時間程度であった。

6. 掘進結果

一般部とドレーン材埋設部の掘進状況を表-5に示す。一般部とドレーン材埋設部掘進のシールド機の推力やカッタートルクなどの負荷に違いは確認できなかった。

ドレーン材埋設区間においては、実験結果ではブレード回転数400rpmできれいに切断可能であったが、実施工によるドレーン材を除去装置にて回収可能とし、切断面を比較するとあまり切断されていない部分もあったため、500rpmの回転数とすることでうまく取り込んだ。

結果、ドレーン材埋設部掘進時のブレードカッター圧、ドレーン材除去装置の吸込圧および吐出圧などにも大きな変動はなかった。

これらの結果は、ブレードカッターでドレーン材を良好に切断可能であったため、シールド機に負荷作用しなかったものと考えられる。

なお、一般部掘進の日進量が6～7Ring/Dayに対して、ドレーン材埋設部掘進の日進量が5Ring/Dayであるのは、ドレーン材除去装置内の清掃を2～3Ring毎に1回、1時間程度を要して行ったためである。

7. 地盤変状計測

掘進の適切な管理値を決定するため、誘導路および滑走路手前に層別沈下計・傾斜計を設置して掘進管理値と地盤変状の関係を把握した。

また、誘導路、滑走路、エプロン部の影響範囲内の掘進時、および影響解析範囲通過後1週間は、1日に1回、通過後1週間から1ヶ月は週に1回の頻度で水準測量を行った。この結果、地盤変状の最大値は約10mm程度で、良好な掘削を行うことができた。

8. 杭切断

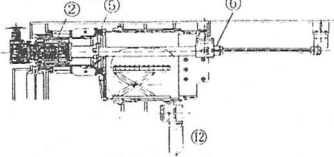
当工事においては、施工計画段階より1,079R付近において鋼管杭(φ558)が出現することが確認されていた。この杭の撤去方法は、チャンパー内の泥水を抜き取り、チャンパー内に限定圧気をかけて切断・撤去するものである。撤去工事を行うに当たり、鋼管杭の切断をガス切断機にて撤去することは、空間が狭く、メタンガスなどの危険性が考えられたため、ウォータージェットを使用して輪切りに切断し、チャンパー内より撤去した。

9. あとがき

本工事は、平成7年12月に発進し、14ヶ月掘進後、平成9年2月に無事到達できた。施工、実験、装置開発等に当たり、御指導頂いた運輸省第二港湾建設局、京浜急行の皆様方にこの場をかりて感謝申し上げます。

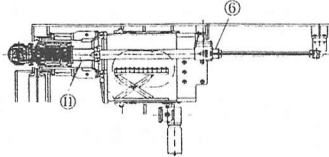
1. メンテナンスホール前進

- A. スクリュージャッキによりメンテナンスホール合わせ面シールを長円筒形支持フレーム(1)に押し付け泥水側と遮断する。
- B. メンテナンスホール側エンドカバー(2)を外す。
- C. 長円筒形支持フレーム側エンドカバー(3)を取り外す。
- D. 配管、配線をグラブ一部にて切り離す。
- E. 交換ジャッキ(4)により前面からの泥水圧を支える。



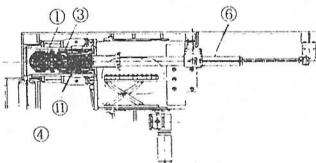
2. ブレード装置90°旋回

- F. 交換ジャッキ(4)によりブレード装置(5)を90°旋回させる。
- G. スペーサ(6)と長円筒形支持フレーム側エンドカバー(3)を推開するボルトを外す。



3. ブレード装置格納

- H. 交換ジャッキ(4)によりブレード装置(5)をメンテナンスホールへ引出し、ナイフゲート(7)を締め、前面の泥水と遮断する。
- I. 交換ジャッキ(4)と軸受けブロック(8)の間のスペーサ(6)を外す。



4. ブレード装置交換

- J. ブレード装置(5)をメンテナンスホール(7)に引き込み、テールリフタ(9)上に置く。
- K. ブレード装置(5)を予備の装置と交換する。

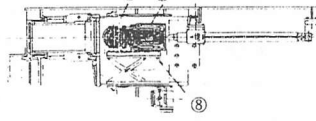


図-10 ブレードカッター交換手順

表-5 一般部とドレーン材部の掘進状況

	一般部掘進	ドレーン材部掘進
日進量	6～7 Ring/Day	5 Ring/Day
推進速度	25～30 mm/min	20～25 mm/min
地盤変状	-10～+10 mm	-10～+10 mm

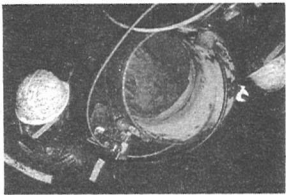


写真-5 鋼管杭切断状況