

# 内空 $\phi 3,400\text{mm}$ の既設コンクリートトンネルにおける $\phi 3,200\text{mm}$ の鋼管布設工事 I.D. $\phi 3,200\text{mm}$ Steel Pipe Installation inside I.D. $\phi 3,400\text{mm}$ Existing Concrete Lining Tunnel for Rehabilitation

小西 守\*  
Mamoru Konishi

堀越 良治\*\*  
Ryoji Horikoshi

豊福 和夫\*\*\*  
Kazuo Toyofuku

## 要 約

本工事は、バンケン地区の水処理プラントにおいて処理した水を地上 75m のサージタワーより、各中継所（ポンプステーション）に送水する幹線圧力コンクリートトンネルの老朽化に伴う漏水に対する改良工事であり、これにより完全な圧力トンネルを再構築するものである。

本工事区間は、1976年に当社が施工した10.3km シールドトンネル（二次覆工仕上げり  $\phi 3,400\text{mm}$ ）である。この工事の特徴は、内径  $\phi 3,200\text{mm}$  の鋼管（板厚 9.2mm、鋼管長 4m）を使用し、円周方向10cmの僅かなクリアランスのもとでパイプ運搬、据付、溶接および裏込モルタル打設などの各作業を8ヶ月の短工期内に完了したことである。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 鋼管板厚検討および鋼管外圧現場試験
- § 4. ライニング施工
- § 5. おわりに

## § 1. はじめに

近年のバンコク首都圏水道公社の送水管幹線工事では、二次覆工に鋼管を用いた工法が採用されているが、初期の頃にはコンクリート式圧力トンネルが主流であった。現在、既設のコンクリート式圧力トンネルでは、老朽化

が進み漏水が目立ち始めたため、送水能力を抑えた営業運転を行っている。このような状況下においてバンコク首都圏公社では、広域エリアの給水不足を解消する目的から、現在100万 $\text{m}^3$ /日の送水量を将来的に1.5倍の150万 $\text{m}^3$ /日に引き上げることを計画している。このため、現在の老朽化したコンクリートトンネルを短期間に完全な圧力トンネルに修復する必要がある、鋼管を用いた二次覆工工法が採用された。

本工法の特記仕様では、工期が3段階に分割されており、全体工期は立坑整備期間4ヶ月（施工区間の水替え、鋼管搬入のための設備等）、トンネル補修期間8ヶ月、立坑復旧期間4ヶ月の計16ヶ月である。なお、各段階で工期の遅れに対して遅延金が科せられている。

トンネル補修方法は、老朽化した既設トンネルを止水・清掃した後、トンネル内に鋼管を据付・溶接接合し、円周方向10cmのクリアランスに裏込モルタルを打設して鋼管を固定する工法である。

\* タイ国(営)土木課長

\*\* タイ国(営)バンコク下水シールド(出)所長

\*\*\* タイ国(営)バンコク下水シールド(出)副所長

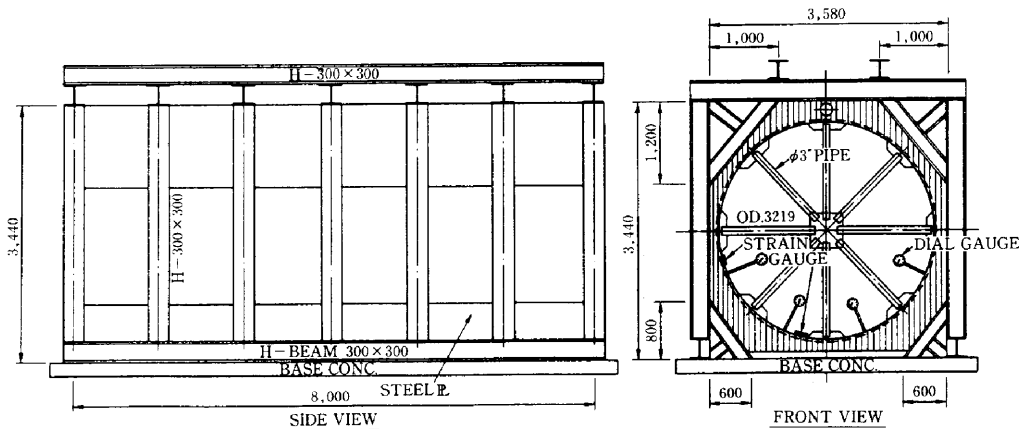


図-1 モルタル充填による鋼管外圧現場試験装置



写真-1 鋼管外圧現場試験状況



写真-2 モルタル充填状況

§ 2. 工事概要

工 事 件 名	水道トンネル改良工事
施 工 場 所	バンコク市内より北方25km, バンケン地区内
企 業 先	バンコク首都圏水道公社
工 期	平成4年3月～平成5年7月
施 工 延 長	10.3km
鋼 管	内径φ3,200mm (板厚9.2mm) 7,940 t
地 盤 改 良	1,800m <sup>3</sup> (セメントミルク)
既設立坑整備工	5カ所
既設バルブ整備工	φ2,800mm 1基 φ2,400mm 2基 φ2,200mm 1基 φ1,600mm 1基

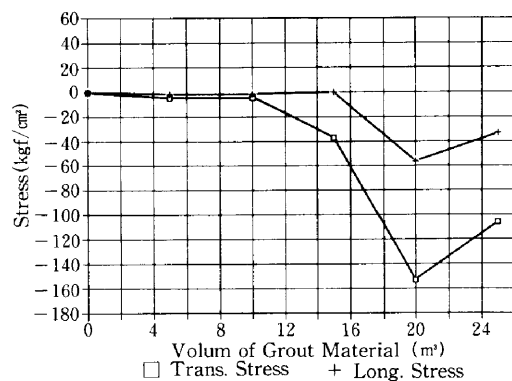


図-2 モルタル充填量と鋼管応力

ける送水時の内圧(8kgf/cm<sup>2</sup>:785KPa), 地下浸透水圧 (2kgf/cm<sup>2</sup>:196KPa)およびモルタル充填圧(15.937 tf/m:156KN/m)を設計条件とする内圧と外圧の検討を行った。その結果, 鋼管板厚は9.2mm (最大長4.0m)とした。なお, この時の設計たわみ量は3.2mmであり, 鋼管の内側補強スパイダーは, 座屈を考慮して許容圧縮応力を1,336kgf/cm<sup>2</sup>(131MPa)として設計した (図-1参照)。

§ 3. 鋼管板厚検討および鋼管外圧現場試験

3-1 鋼管板厚の検討

内径φ3,200mmの鋼管板厚設計では, 薄肉円筒管にお

3-2 鋼管外圧現場試験

設計の妥当性を照査するために, 外圧としてモルタル充填圧を受ける鋼管 (板厚9.2mm)に発生する応力とた

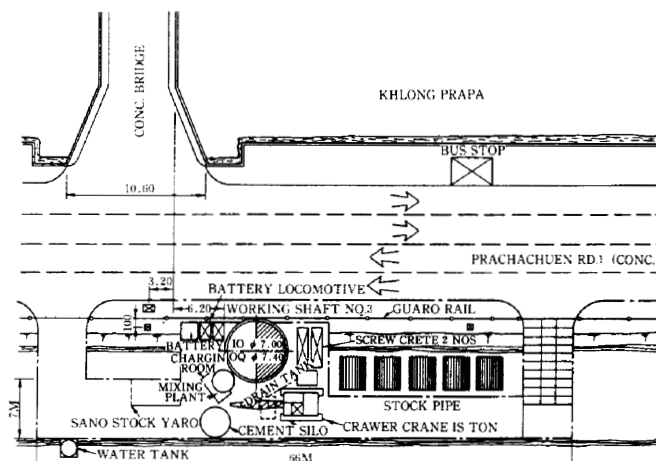


図-3 作業立坑標準設備図

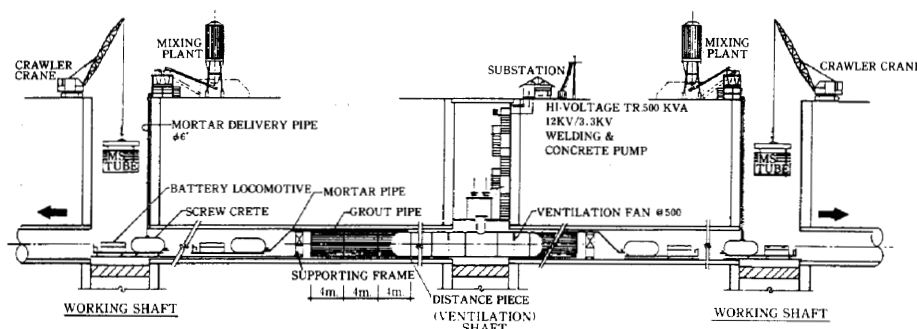


図-4 ライニング施工断面図

わみ量を検討する試験を行った。試験装置は地上において、実施工に供する断面に可能な限り近い形状寸法で製作された。また、補強スパイダーの設置間隔を選定するため、試験装置内に鋼管を2本（1本4m）設置し、1本目は2m間隔で3ヶ所、2本目は4m間隔で2ヶ所に補強スパイダーを取付けた（図-1、写真-1参照）。

モルタル打設にはコンクリートポンプ車を用い、引抜き方法による打設とした。計測項目は、応力（ひずみ）とたわみであり、鋼管内部にストレインゲージとダイヤルゲージを取付け、モルタル打上がり毎に測定を行った。

計測の目的は以下の通りである。

- ① モルタル充填に対する外圧応力の検討。
- ② 鋼管のたわみの検討。
- ③ 鋼管の浮力に対する検討。
- ④ 引抜き方式によるモルタル充填状況の確認。

試験の結果、モルタル充填時の外圧応力156kgf/cm<sup>2</sup>（15.3MPa）は、設計値1,336kgf/cm<sup>2</sup>（131MPa）に対して12%であった。また、このときの鋼管内のたわみ量は0.05mm、浮力によるたわみ量は最大2mmと設計値3.2mmを満足する良好な結果が得られた。以上の結果より、鋼管板厚は9.2mmとし、補強スパイダーは1本に2ヶ所設置することにした。また、試験結果から判断し、

モルタルのライニング打設長は12mとした。

## § 4. ライニング施工

### 4-1 立坑整備工

本工事では、10.3kmのトンネル改修に先だち立坑整備を行った。立坑は、鋼管および裏込モルタル投入・運搬等に供する作業立坑、換気および高圧ケーブル配線に供する立坑の2種類とし、作業用途別に配置計画を行った。これらの立坑は、17年前のシールド工事で築造されたシールド発進・到達立坑を修復利用するものと、既設バルブチャンバー内のバルブ等を撤去して使用するものと2通りからなる。作業立坑は、工期と作業性を考慮して3ヶ所設け、且つ両方向への施工とした。また、換気およびケーブル配線用立坑は、各作業立坑間に設けた。図-3に作業立坑標準設備図を、図-4にライニング施工断面図を示す。

### 4-2 トンネル水替および清掃

水替作業は、総水量93,500m<sup>3</sup>、延長10.3kmに対して、送水用ポンプの停止と本管末端バルブを締めて行った。水替場所は本管の高低差を考慮して、ほぼ中間地点のバンソン・バルブチャンバーとした。水替作業日数は、水

中ポンプ（10インチ）3台を据付け、本管内のドレーンバルブ（φ600mm）2ヶ所より排水量を調整しながら行ったが、公称能力の60%の稼働率で延べ7日間を要した。また、水替と平行して、17年もの間トンネル内部に付着滞積した水垢を取り除くためのトンネル内清掃を行った。この清掃作業は、1パーティを10名の編成とし、4パーティの昼夜勤務で行い、清掃道具はデッキブラシ、竹箒、バケツ等を用いた人海戦術で行った。

4-3 軌条設備

軌条設備では、鋼管運搬の際に上下のクリアランスが10cmと狭小なことから特殊レールを考案した。このレールは、事前に平塚製作所において4tバッテリーカーによる走行実験を行い、耐久性に関する問題点を改良したものである。レール構造は、アングル90mmと帯鉄板6mm

を組合せたもので、レール高さを50mmに抑えるためにアングルを一部切断して帯鉄板に溶接したものである。継手箇所はピン構造とし、坑内での取付作業の簡素化を図った。なお、布設の際、レール長は6m、軌条間隔は762mmとし、曲線区間ではレールの両側に振止め対策のストッパーを取付けた（図-5参照）。

鋼管運搬は、バッテリーカーによる運搬台車押し込み方式とした。なお、運搬時のトンネル天端と鋼管上部のスペースは、最低40mmを確保する必要があったことから、特殊な鋼管運搬台車を平塚製作所において1台試作

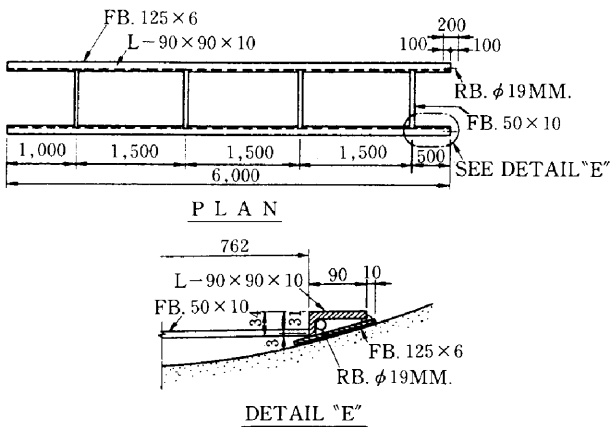


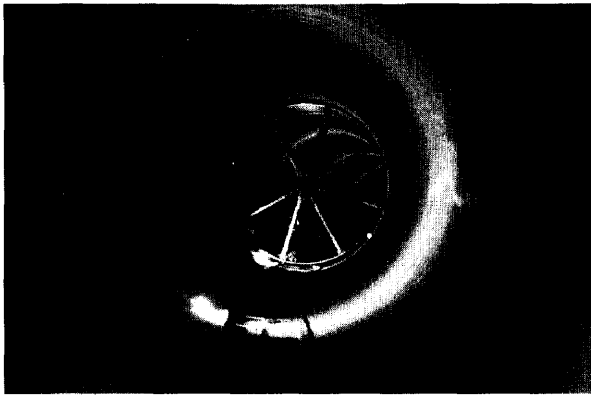
図-5 特殊レール



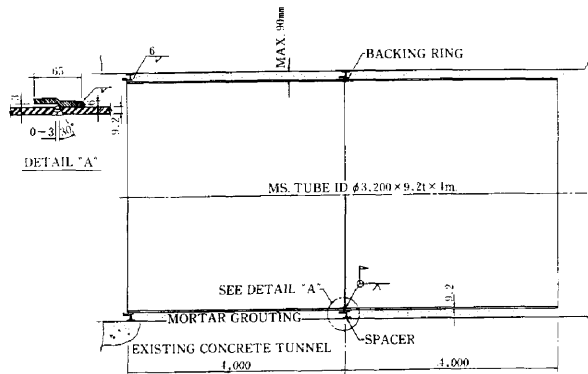
写真-3 鋼管運搬台車

DESCRIPTION	TIME	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
1. PIPING WORK														
A. MS. TUBE TRANSPORTATION			No.1	No.2	No.3									
B. FITTING			No.1	No.2	No.3									
C. ROOT PASS WELDING				No.1										
					No.2									
						No.3								
2. GROUTING WORK														
A. SETTING SHUTTER						1Hr.								
B. GROUTING								4Hrs.						
C. CURING AND 2nd. GROUTING												3Hrs.		
D. CLEANING AND CAULKING														
								12HRS.						

図-6 標準サイクルタイム



写真一 鋼管運搬状況



図一 鋼管据付断面図

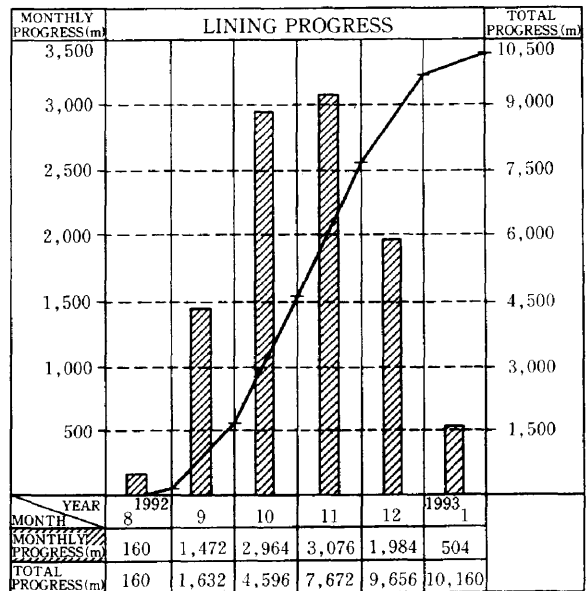
して機能を確認した後、これをモデルとして残り数台を現地で製作した(写真一3,4参照)。

4-4 鋼管据付および溶接

鋼管据付は、既設トンネルのアライメントを5m毎にレベル測量で確認し、据付位置および巻厚の検討を行った。1シフトの標準サイクルタイムを図一6に示す。なお、1シフト(12時間)当りの鋼管据付実績は3本であった。

据付作業は、坑内に運搬された長さ4mの鋼管をチェーンブロックで吊り上げて運搬台車から引き抜いた後、所定の位置に移動して行った。据付挿入時の問題点は、バックリングのクリアランスが3mmと小さいこと、鋼管板厚が9.2mmと薄いことにより工場内での曲げ加工が困難で口径が真円にならないため、接続が難しいことである。したがって、据付挿入は、現場にて口径の整形を行いながら4台のチェーンブロックを用いて順次引込み、巻厚の検測を行った後、モルタル打設時の鋼管浮上りおよび横移動防止のためのスペーサー(アングル50mm)を取り付けた。図一7に鋼管据付断面図を示す。

鋼管継手部の溶接は、まず、口径を調整しながら溶接間隔を8~10mmとしたルートパス溶接を行った。これはバックリングと挿入管の間隔部溶接であり、1継



図一 8 ライニング進行実績

手当たり溶接工2名の編成で30~50分の時間を要した。つぎに、仕上げのカバーパス溶接は、モルタル打設後の硬化を待つて最低12時間を経過した後、鋼管内の補強スパイダーを撤去して行った。ライニング進行実績を図一8に示す。

4-5 裏込モルタル

作業立坑1ヶ所当り必要モルタル量は、昼夜作業による両側の施工上、計50m³(12.5m³/回×4回)である。モルタルは、生コンクリート工場からの供給に対して打設時間や運搬に伴う交通事情等の問題が予測されたため、各作業立坑に0.5m³の高速モルタルミキサーを有する設備を設けて現場練りとするこゝで、供給を確保した。

モルタルの運搬は、トレミー管(φ200mm)にて立坑下のスクリュークリート(3m³)に一旦受けた後、坑内に配送した。つぎに、このモルタルは、レデューサーにて打設パイプφ150mmから角パイプ50mm×100mmに断面変更して打設した(写真一5参照)。なお、打設時の筒先はモルタル中に50cm程挿入させ、打上がり速度に応じてパイプを引抜く工法とした。この際、鋼管板厚が薄いことを考慮して、直接鋼管に打設圧力が及ばないように施工管理を行った。モルタルの配合は、設定強度200kgf/cm²(19.8MPa)を満足するものを試験練りにより選定した。図一9にモルタル配合および圧縮強度を示す。

4-6 鋼管ライニング水圧および漏水試験

既設バルブの据付復旧後、以下の3つのバルブ区間毎に分けて鋼管ライニング水圧および漏水試験を行った。

- ①P.Y.~P.H. バルブチャンバー L=1,700m
- ②P.H.~B.S. バルブチャンバー L=2,909m

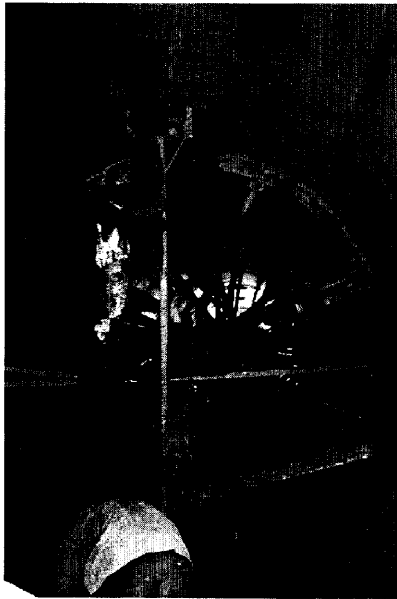


写真-5 モルタル打設状況

③B.S～サージタワー L=5,550m

仕様書の本試験に対する要求は、水圧試験では所定水圧 (6.6kgf/cm<sup>2</sup> (647KPa)) に管が耐えること、漏水試験では所定水圧下で漏水量が2時間ゼロであることである。したがって、ここでは管内圧の低下が無いことを確認することにした。

試験では、まず、水需要の比較的少ない夜間に幹線の既設バルブを操作し、20m<sup>3</sup>/minの注水を行うと同時に、水量の0.25%に相当する塩素を投入してトンネル内の消毒を行った。つぎに、注水完了後、エアー抜きバルブによりトンネル内の残留エアーを排出し、タービンポンプで所定圧まで加圧して試験を行った。水圧および漏水試験における圧力測定は圧力ゲージにて行い、水圧試験は15分毎の計測を1時間、その後、漏水試験を2時間とする合計3時間を要した。

試験結果は、全区間において仕様書の要求を満足するものであった。試験結果として、P.Y.～P.H.区間における管内圧力の経時変化を図-10に示す。なお、図中の圧力(縦軸)は所定の圧力(6.6kgf/cm<sup>2</sup> (647KPa))を示していないが、これは圧力ゲージの設置位置によるものであり、トンネル内には所定の圧力が作用している。

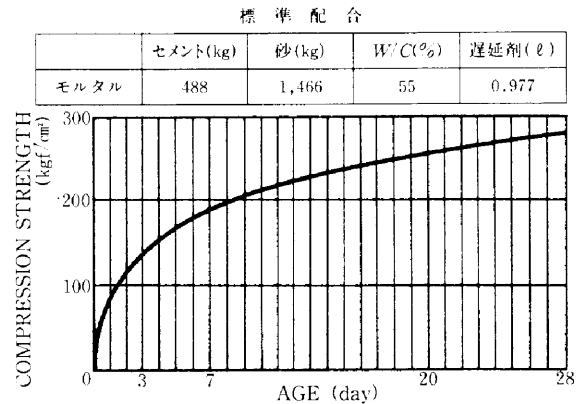


図-9 モルタル配合と圧縮強度

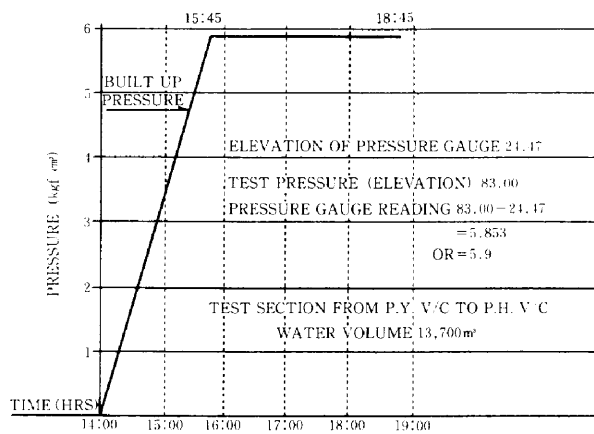


図-10 水圧および漏水試験結果 (P.Y.～P.H.)

§ 5. おわりに

今回のトンネル改修は、事前に既設トンネルの老朽状況を把握することが困難で、通水を止めてからの内空断面調査、漏水状況調査と問題が多い工事であった。ライニングの着手当初、鋼管ストックヤードには800本もの鋼管がストックされ、約3週間は作業員の不慣れにより進行効率の上がらない毎日であったが、作業の進展に従って熟練度も上がった。3ヶ月後にはストックヤードの鋼管も無くなり、毎日18本の鋼管の作業所への振り分け調整をするまでになった。8月1日の水止め以来、9月初旬よりライニングを開始し、翌1月上旬に10.3km全工区のライニングを完了するとともに、水圧試験も問題無く終了し、2ヶ月の工期短縮をもって2月中旬には送水を開始する事ができた。

最後に本工事の施工に当たり、ご指導、ご協力頂いた一般土木委員会の皆様、並びに平塚製作所の関係者各位に深く感謝致します。