

大口径リバーズ工法を用いた立坑の合理的構築工法

滝 沢 究

近年、都市部の立坑工事においては、立地条件の悪化，進行する大深度化に対応するため，限られた作業空間で安全かつ短期間の施工を可能とする工法が求められている。

一方，リバーズサーキュレーション工法（リバーズ工法）は施工の安全性が高い水中掘削方式であり，また，掘削深度増大に伴う施工能率低下が少ないという特徴を有する。

本報文では大口径リバーズ工法とケーソン工法を合理的に組合せた RESCO 工法（Reverse-circulation-drill Shaft Construction Method）及び，その施工事例を紹介する。

キーワード：大深度立坑，リバーズ工法，ケーソン工法

1. はじめに

現在，都市部の地下利用は一層の大深度化が進み，各種ライフライン向けのシールドトンネルや地下構造物の建設にともなう大深度立坑の構築が，都市土木工事において重要な位置を占めてきている。多くの場合，これら立坑の施工は建物の密集地，道路上あるいは路下などで行われ，こうした厳しい施工条件のもとで高品質の立坑を構築するための合理的な施工方法が求められている。

RESCO 工法（Reverse-circulation-drill Shaft Construction Method）の開発目的は，このような社会的要求に対して「安全に」，「早く」，「経済的に」大深度立坑を構築できるようにすることである。

工法名称の由来するところでもあるが，その掘削工法には多くの実績と信頼性を有するリバーズサーキュレーション工法（リバーズ工法）を用い，加えて，既存の施工法であるケーソン工法あるいはシールド工法の長所・利点を組合わせて，より合理的な立坑構築工法に仕上げようというのが開発の方向である。

2. 工法の概要

RESCO 工法の掘削は，リバーズ掘削機を用いて安定液中で行

う。

躯体の構築・沈設は，ケーソンの沈設する方法とシールド的に沈設する方法があり，深度や現場条件によって沈設する方法を選択する。なお，後者については机上プランの段階であり，本報文では前者のケーソンの沈設方法について記す。

- 躯体構築は，
- 場所打ちコンクリート，
- プレキャストコンクリートセグメント，
- 鋼製プレハブセグメント，

などから自由に選択でき，本体として用いる場合は掘削完了とほぼ同時に躯体構築，立坑施工の完了とすることができる。

図-1 に工法構成図を，図-2 に工法概念図を示す。

3. 工法の特徴

① 立坑内に安定液を溜めた状態で水中掘削を

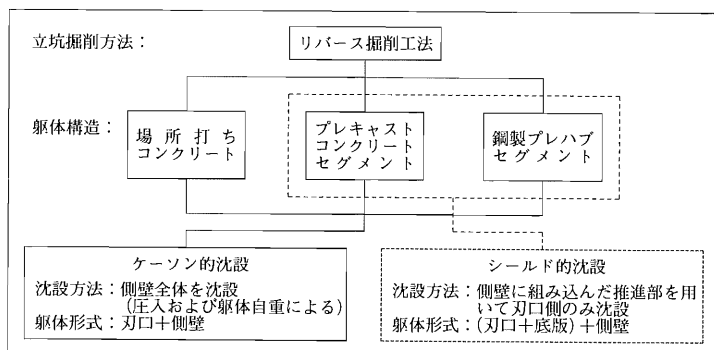


図-1 RESCO 工法構成図

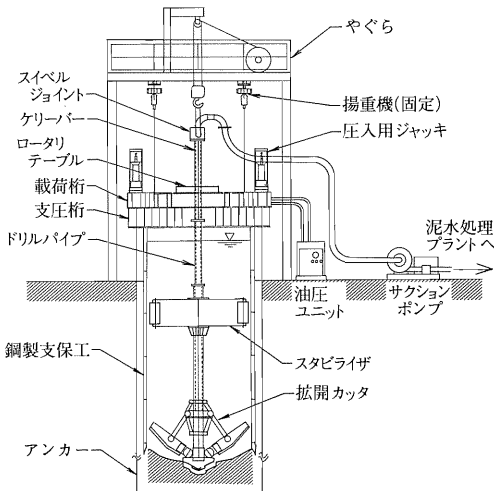


図-2 RESCO 工法概念図

行うため、被圧滞水地盤、軟弱地盤などの厳しい地盤条件下でも補助工法無しに確実に施工できる。また、掘削時に作業員が立坑内に入ることがなく、大深度施工においても作業の安全性が高い。

- ② リバース掘削機による水中掘削の採用で、地下水位低下や地盤沈下、騒音・振動が抑制され、周辺環境への影響がほとんどない。また、掘削深度増加による施工能率の低下が少ない。
- ③ 掘削、躯体構築を連続して行うため、工期の短縮が図れる。
- ④ 施工設備が簡単、コンパクトなため、広い作業ヤードを必要とせず、狭隘な敷地にも対応できる。

4. 適用範囲

RESCO 工法の適用範囲は下記のとおりである。

- ① 立坑形状：円形断面
- ② 立坑寸法：外径 $\phi 3\text{ m} \sim \phi 12\text{ m}$ 程度
- ③ 立坑深度：30 m \sim 70 m 程度

5. 施工手順

ケーソンの沈設方法での施工手順を図-3 に示す。

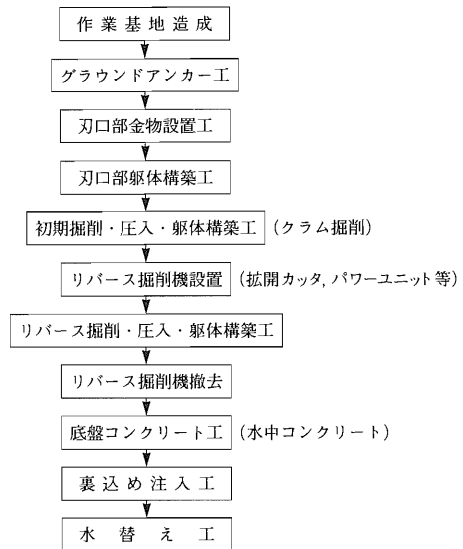


図-3 ケーソンの沈設方法での施工フロー

6. 施工事例

(1) 施工事例-1

(a) 工事概要

- ・工事名称：都営地下鉄 12 号線東中野第一工区建設工事
- ・発注者：東京都交通局
- ・立坑外径： $\phi 5.05\text{ m}$
- ・掘削深度：50.1 m

RESCO 工法を採用した本立坑は、地下鉄シールドトンネルの湧水を集めて圧送排水するためのポンプ所施設であり、シールドトンネルの脇に立坑を設けて、シールド通過後、ポンプ所より横坑掘削してシールドトンネルとポンプ所を接続し、排水を行うものである。

本立坑は、当初、全面地盤改良による深礎工法で計画されていたが、近隣住民に対する騒音、振動、地盤変状などの影響や、深く狭い立坑内での掘削作業の安全性と止水性、工期短縮の要請に応えられない、などの問題があった。そのため、これらの問題を解決可能な工法として RESCO 工法が採用された。ポンプ所断面図および地質概要を図-4 に示す。

(b) 機械および施工ヤード

施工システム全景を写真-1 に、掘削に使用した拡開カッタを写真-2、写真-3 に、施工ヤードの概略図を図-5 に示す。

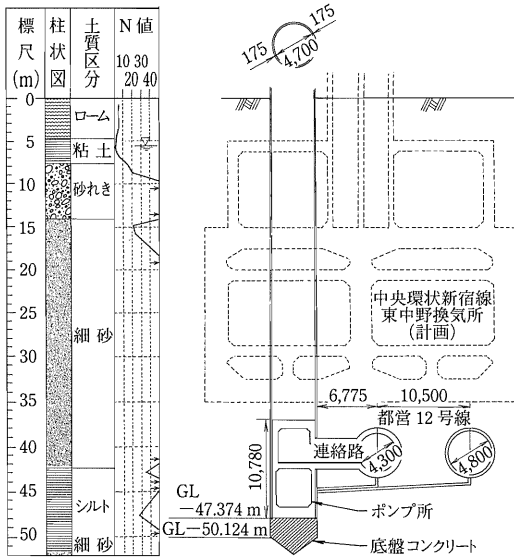


図-4 ポンプ所断面図および地質概要図

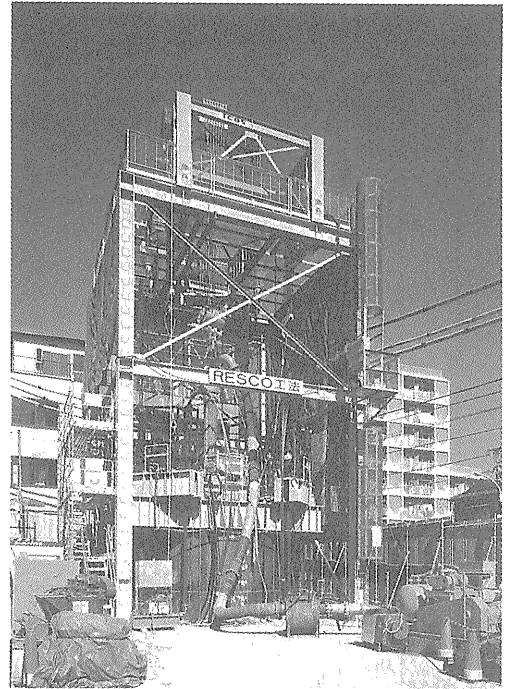


写真-1 施工システム全景

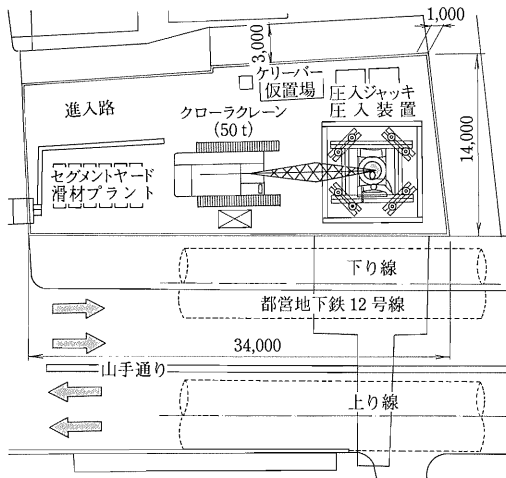


図-5 施工ヤード

拡開カッタは沈下力の低減、機械の投入撤去の利便性を考慮して開発したもので、ここではφ2.3~φ5.15m 拡径の仕様で製作した。他の掘削装置類は既存の大型リバース掘削機用の機器をそのまま使用できる。また、機構が簡単なリバース掘削方式を採用したことにより、作業スペースの低減が図れ、図-5 に示した作業エリア (約 400 m²) とプラントヤード (別途、約 340 m²) で施工を実施した。

(c) 施工結果

① 沈下実績

躯体の沈設についての考え方は、通常の圧入ケーソン工法と同様で、沈下の可否の判定は次式

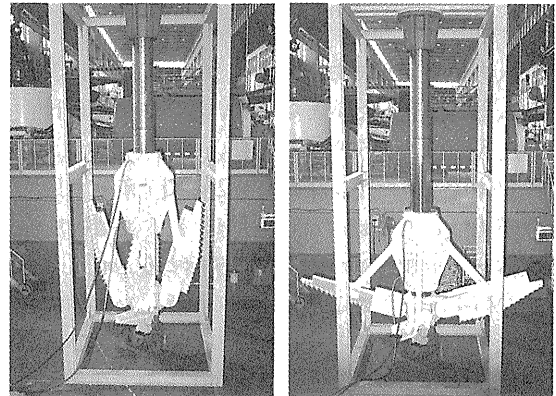


写真-2 拡開カッタ (閉じた状態)

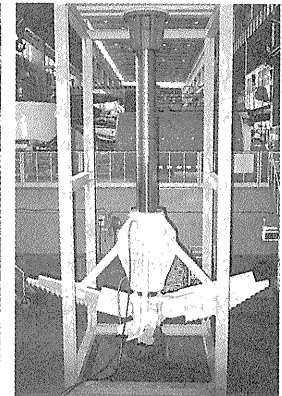


写真-3 拡開カッタ (拡げた状態)

に示すように行った。

$$\text{沈下力} - \text{沈下抵抗力} \geq 0$$

ただし、

$$\text{沈下力} = \text{自重} + \text{圧入力}$$

$$\text{沈下抵抗力} = \text{周面摩擦力} + \text{浮力} + \text{刃先抵抗力}$$

図-6 に圧入実績図を示す。

沈設当初は沈設精度の向上を図るため、刃口下地山をそのまま残して圧入し、その後、沈設時の挙動を監視しながら徐々にカッタ拡径量および先行掘り量を増加していった。そのため砂礫層を含む深度 8~20 m の浅い区間では、実圧入力が設計

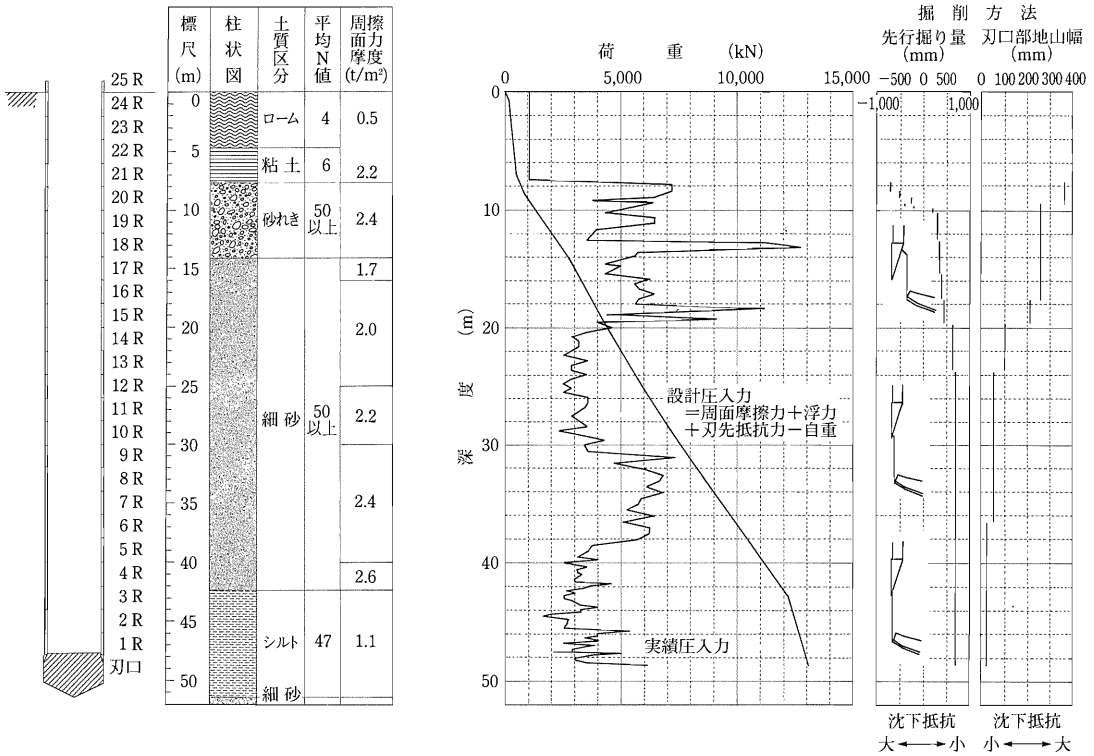


図-6 圧入実績図

圧入力を上回っており、逆に 20 m 以深では設計圧入力を下回った値となっている。最終的には設計圧入力の 40~50%程度 の圧入力で沈設された。

躯体沈設時の周面摩擦力を周面積で除した周面摩擦力度は 9.5 kN/m² と計算され、洪積砂層を主体とした地盤における周面摩擦力度としては小さな値を示している。カッタの拡径による刃口先端抵抗の低減効果と滑材採用の効果、および、高い沈設精度などにより、小さな圧入力で沈設が可能になったと考えられる。

② 施工能率

本工事での一連の作業である掘削、圧入、鋼製セグメント組立て、配管などの標準的なサイクルタイムを表-1 に示す。8 時間/日作業として、おおよそ 2.2 日で 1 リング (2 m) の沈設スピードである。

表-1 標準的なサイクルタイム

リバース掘削沈設		18.3 時間/R
内訳	準備工	3.4
	支保工組立	3.1
	掘削	6.8
	圧入	3.0
	配管	2.0

表-2 にリバース純掘削能率を示す。砂礫層で 15~20 cm/min, 砂層および固結シルト層で約 35 cm/min であった。砂礫層は着工当初の施工で特に慎重な掘削を行ったのに加え、最大径で 20~30 cm の礫を含んだ層であり、その礫破碎、排泥に時間を要したため、砂層、固結シルト層と比較して能率が低くなったと考えられる。一方、深度増大にともなう能率低下はほとんど見受けられなかった。

表-2 純掘削能率

土質名	平均N値	深度 (m)	能率 (cm/時)
砂礫層	$\bar{N} \geq 50$	8~14	15.4
砂層	$\bar{N} \geq 50$	14~30	34.0
		30~42	38.7
固結シルト	$\bar{N} \geq 47$	42~51	33.5
全体平均			30.9 cm/時

③ 施工精度

施工に当たっては、掘削圧入時、パソコンを用いた運転管理を実施し、各種機械の運転状況および圧入沈下量などをリアルタイムで計測表示し、オペレータに情報を供給した。これによって、オ

オペレータは掘削機が最適な状況になるように運転を指示するとともに、常時沈下量が一定になるようにジャッキ圧入量の調節を行った。

特に掘削運転上、拡開カッタとケーソン刃口の位置関係を把握することが重要で、両者の接触、挟まれを防ぐとともに、沈設管理のためにも、オペレータが一目でわかるように表示することに留意した。

各沈設段階の精度計測として、挿入式傾斜計を利用したケーソン傾斜の計測も実施し、さらに全施工後の確認として、連壁工事などで用いられる超音波測定器による測定も実施した。

これらの管理の結果、傾斜で1/1,000以下の高い精度での沈設が行われた。

(2) 施工事例—2

(a) 工事概要

- ・ 工事名称：学園壺崎間管路新設工事（第4工区）
- ・ 発注者：関西電力株式会社
- ・ 立坑外径：φ3.60 m
- ・ 掘削深度：39.7 m

RESCO 工法は、電圧 50 万ボルトの電力を送電するための地中洞道シールドトンネル施工区間からケーブルの分岐などの用途で設ける分岐立坑築造工事の施工に採用された。

工法選定においては、確保でき得る占用範囲内において施工が可能であること、近接する重要埋設管への影響が少ないこと、しかも騒音、振動、地盤沈下など環境面での影響が少ないことなどの現場条件を考慮し、RESCO 工法に決定した。

土質および施工全体図を図—7 に示す。

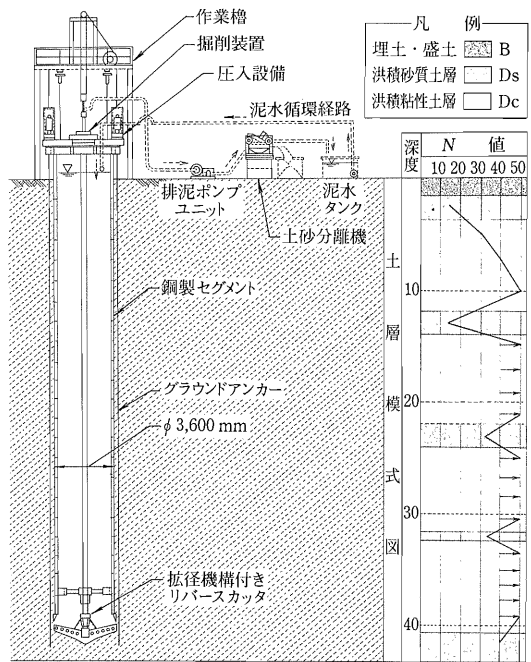
(b) 施工機械

既存の掘削機はφ5 m クラス以上の施工が最適となるように設計されたものであったため、新たにφ3~φ5 m クラス用の掘削機を開発し、小型化・軽量化を図った。掘削機を写真—4 に示す。

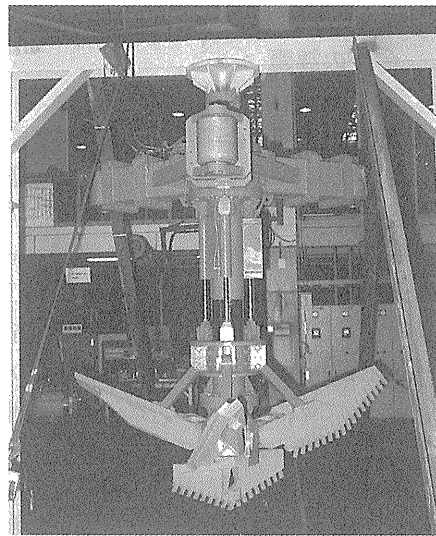
(c) 施工結果

圧入実績図を図—8 に示す。設計圧入力の方々は施工事例 1 と同様である。

深度 8~12 m では刃口接地幅を約 30 cm に調整したため刃先抵抗力が大きく、実圧入力が計画値（設計値）を上回った。一方、深度 12 m 以深で



図—7 土質および施工全体図



写真—4 小口径立坑用掘削機

は刃口接地幅を 18 cm 以下で管理したため、刃先抵抗力が小さくなり、実圧入力が計画値を下回った。

最終的には計画圧入力 6,730 kN に対して実圧入力 4,020 kN となり、計画値（設計値）の約 60%であった。

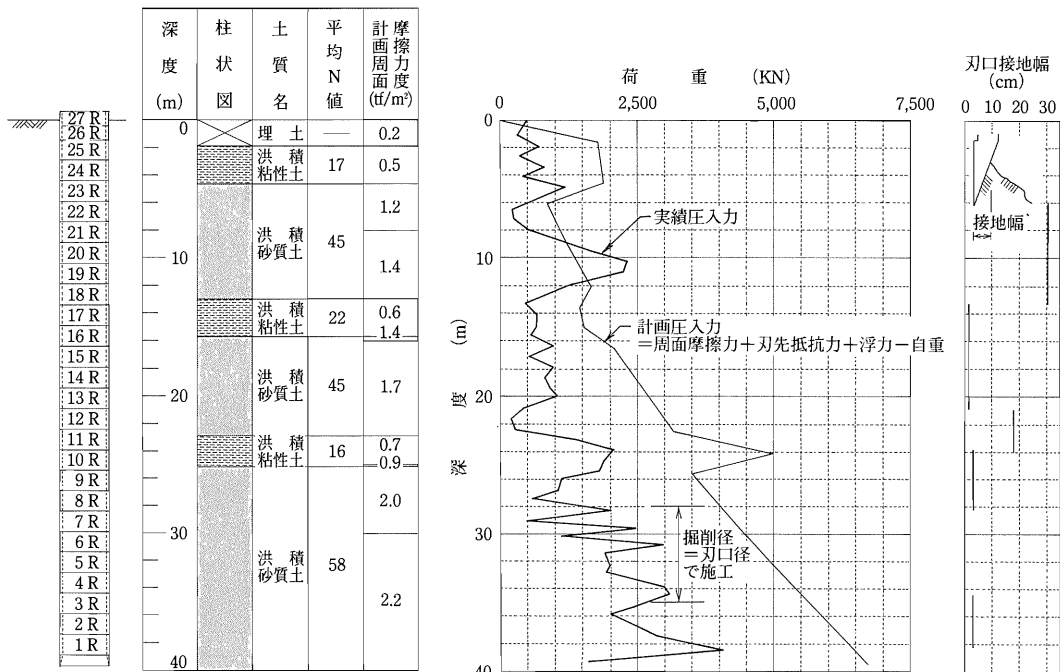


図-8 圧入実績図

7. 今後の課題

RESCO 工法の今後の課題を以下に挙げる。

- ① 現状のリバース掘削機で対応可能な最大掘削径は 12 m 程度であり、さらに大口径立坑となった場合の掘削機の開発が課題である。
- ② 最大径 250 mm を超えるような玉石が多数存在する地盤に対しては、現状の掘削機では排泥能力が不足するため、補助工法が必要となる。このため、礫破碎装置等を装備した掘削機の開発が課題である。
- ③ 実績を蓄積し、設計圧入力算定方法の見直しなどを行い、より経済的な計画ができるようにしていくことが求められる。

8. おわりに

今後、大深度の立坑急速施工技術として、本工法の確立を推し進めていきたいと考える。

J C M A

【参考文献】

- 1) 一関文孝, 田中猛: 東中野ポンプ所への合理的な立坑構築工法 (RESCO 工法) の適用, 地下鉄 12 号線放射部の施工技術, (社) 土木学会, pp. 33~44, 1998
- 2) 小山 茂, 他: 大深度不飽和地盤におけるシールド分岐立坑の施工, 第36回地盤工学研究発表会平成13年度発表講演集, pp. 1863~1864, 2001

【筆者紹介】



滝沢 究 (たきざわ きよむ)
株式会社間組
土木事業総本部
都市土木統括部