

# 中央環状品川線五反田出入口の切開き部の設計概要

石黒 義晃<sup>1</sup>・飯島 悠介<sup>2</sup>・須田 久美子<sup>3</sup>・中川 雅由<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局品川線工事事務所 (〒141-0032 東京都品川区大崎5-4-3)

E-mail:y.ishiguro142@shutoko.jp

<sup>2</sup>正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局設計グループ (〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3)

<sup>3</sup>フェロー 鹿島建設 (〒141-0031 東京都品川区西五反田7-1-9)

<sup>4</sup>正会員 鹿島建設 (〒141-0031 東京都品川区西五反田7-1-9)

中央環状品川線の五反田出入口は幅員30mの環状6号線直下に計画されている。五反田出入口は狭隘な制約条件のもとセンターランプ式トンネルとなっており、本線シールドトンネルとの分岐合流部では横併設2連のシールドトンネル間をコの字型の非対称形RC躯体で繋ぐ切開き構造を採用した。鋼殻セグメントとRC躯体との接合部の構造詳細は中央環状新宿線の実施設計において各種構造実験等を行って決定した経緯があるが、中央環状新宿線での実績を踏まえ、補強構造の合理化を目的に、五反田出入口切開き部を対象に新たに構造実験および非線形FEM解析を実施して補強構造の見直しを行った。その結果、接合部におけるRC躯体主筋を連続化し配力筋に荷重伝達の工夫を加えることによりU字補強鉄筋を省略できることが明らかになり、設計、施工の合理化が可能となった。

**Key Words :** ramp tunnel, steel-concrete composite structure, structure experiment, FEM

## 1. はじめに

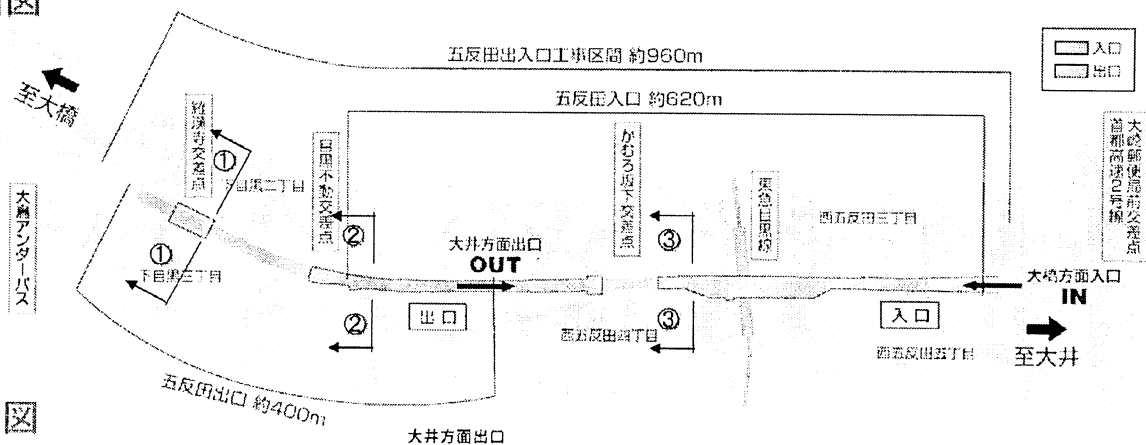
首都高速道路中央環状品川線は、約9.4kmの路線で、そのうち約8.4kmがトンネル構造である。五反田出入口は中央環状品川線のほぼ中央に位置し、図-1に示すとおり、東名、首都高3号線方面への出入口となっている。五反田出入口は幅員30mの環状6号線直下にセンターランプ式トンネルで計画されており、狭隘な制約条件のもと、本線シールドトンネルとの分岐合流部では本線4車線および出口（または入口）1車線を狭い幅員内で配置するために横併設2条のシールドトンネル間をコの字型の非対称形RC躯体で繋ぐ切開き構造を採用した。

道路トンネルにおける大断面シールドトンネルの切開き構造は中央環状新宿線で初めて採用した構造である。鋼殻セグメントとRC躯体との接合部（以下、接合部と略記）は切開き構造の重要部位であり、適用実績がなかったことから、中央環状新宿線の実施設計（従来設計法と略記）では、鋼殻に発生する断面力を確実に躯体に伝達できるように設計するため接合部における補強構造の構造詳細を各種構造実験等で決定した経緯がある<sup>1)</sup>。特

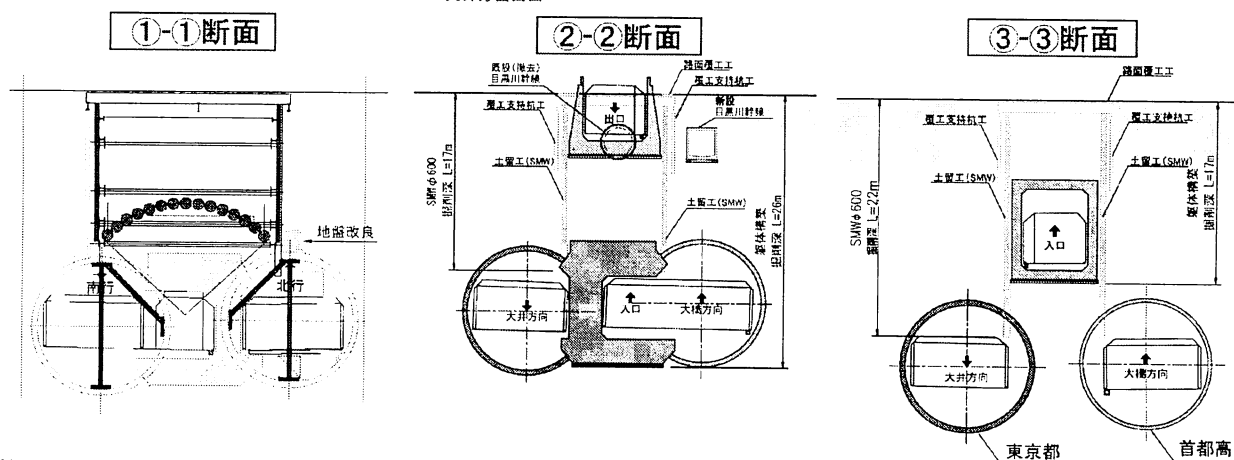
に、鋼殻に発生する曲げモーメントおよびせん断力に対して想定されるRC躯体の最終破壊形態としてRC躯体内に埋め込まれた鋼殻主桁による水平押し抜きせん断破壊を取り上げ、鋼殻主桁埋め込み長を部材高さとしたRC断面（以下、RC断面と略記）に対して必要な引張鉄筋として鋼殻主桁を取り囲むようにU字補強鉄筋を配筋することとした。前述の各種構造実験では1/2縮小接合部模型による実証実験を行っているが、従来設計法に基づいて設計された試験体において、U字補強鉄筋を含めた接合部近傍の鉄筋に発生するひずみがRC断面による計算値よりも十分に小さいことが確認されている<sup>1)</sup>。また、中央環状新宿線の施工実績では、実証実験と同様に、U字補強鉄筋に発生するひずみが極めて小さいことが確認されている。

五反田出入口工事においては工程短縮が重要な課題であるが、中央環状新宿線に比べて本線シールドトンネルの間隔が狭くRC躯体がコの字型の非対称形になるためU字補強鉄筋が側壁の鉛直鉄筋と干渉するなど、より施工上の制約が厳しくなっている。配筋に時間がかかるU字補強鉄筋に代わる接合部の補強構造が望まれる。

## ■ 平面図



## ■ 断面図



## ■ 縦断面図

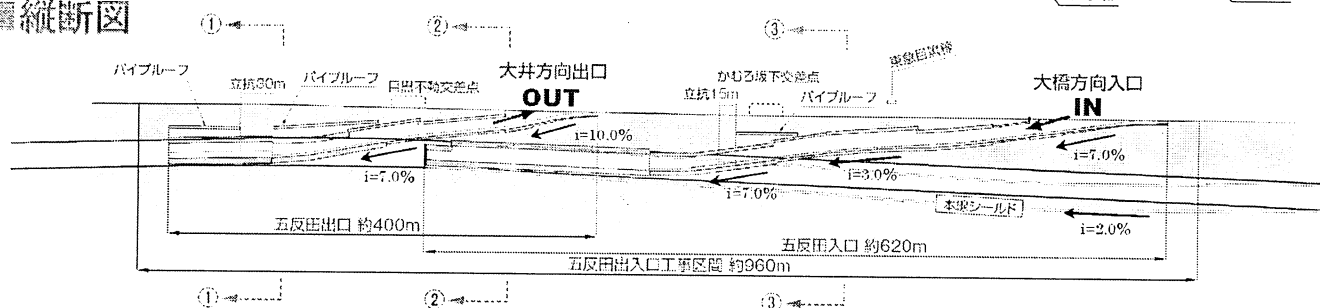


図-1 中央環状品川線五反田出入口の平面図，横断面図，縦断面図

そこで、補強構造の合理化を目的に、五反田出入口切開き部を対象とした接合部の1/2縮小模型による構造実験および3次元非線形FEMを実施して補強構造の見直しを行った。本稿では、接合部の補強構造に係わる設計概要について報告する。

## 2 接合部の補強構造の合理化方法

五反田出入口の代表断面において従来設計法により接合部を設計した場合の配筋図を図-2に示す。鋼殻主桁は間隔1 500mmの外主桁と、その中間に配置される中主桁があり、U字補強鉄筋は全ての主桁を取り囲むように配筋される。U字補強鉄筋は接合部の上縁側、下縁側にそれぞれ2段ずつD51鉄筋が必要な結果となった。

これに対して、中央環状新宿線の実績を踏まえ、次の方針で補強構造の合理化を図ることとした。表-1に従来設計法と合理化設計法の考え方を対比して示す。

- ① R C躯体主筋を連続させ、R C断面の引張鉄筋としてR C躯体主筋を考慮する。この時、鋼殻主桁フランジから45度の応力の広がり角度を考慮して有効幅を設定し、主桁1本に対する補強鉄筋量を決定する。
- ② 鋼殻主桁からR C躯体主筋への応力の伝達が滑らかになるように配力筋を内側に配筋する。

合理化設計法による設計結果を図-3に示す。図-3の設計結果は、R C躯体の主筋に高強度鉄筋SD685を使用した配筋例となっている。

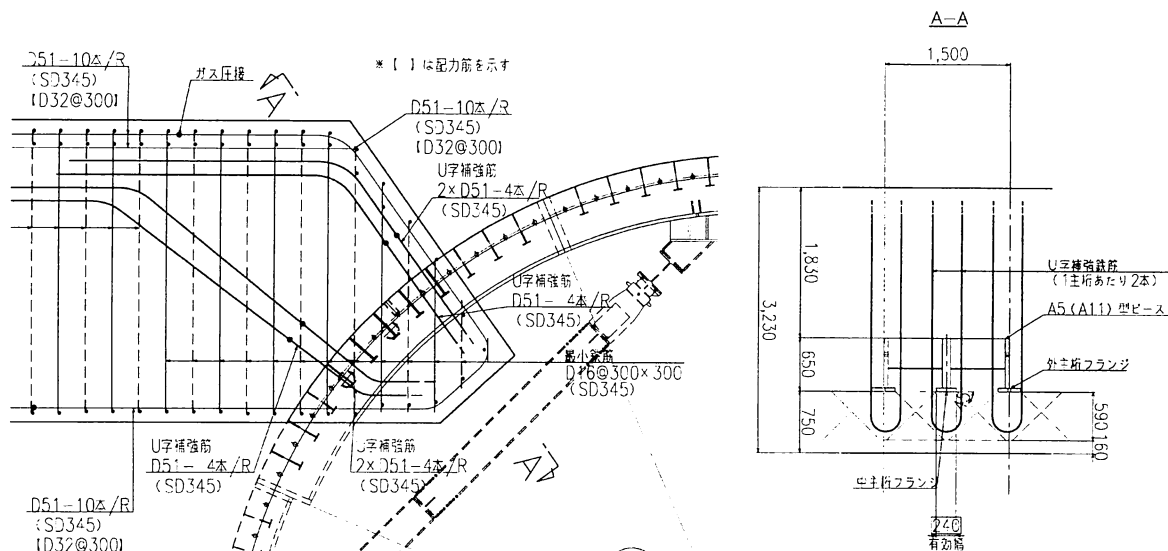


図-2 従来設計法による接合部の配筋図

表-1 水平押し抜きせん断に対する補強の考え方

|       | 従来設計法                                          | 合理化設計法                                                                                                                                                                                                   |
|-------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 補強の方法 | 接合部に生じる曲げモーメントに対して必要な量の引張補強鉄筋は、すべてU字補強鉄筋を配筋する。 | 接合部に生じる曲げモーメントに対して必要な量の引張補強鉄筋は、U字補強鉄筋を配筋する。ただし以下の条件の場合は、躯体の主鉄筋を接合部の補強鉄筋とすることができる。<br>・躯体の主鉄筋が機械式継手で連続化している。<br>・鋼殻からコンクリートを介して主鉄筋に伝達される圧縮力を一様に分散させるように主鉄筋と鋼殻の間に配力筋が配置されている。<br>・躯体設計荷重時に主鉄筋に発生する応力も考慮する。 |
| 断面高さ  |                                                | 鋼殻埋め込み長                                                                                                                                                                                                  |
| 断面幅   | フランジ幅                                          | フランジ幅と主桁間隔から求められる有効幅(主桁フランジから45度の応力の広がり角度を考慮)                                                                                                                                                            |
| 引張補強筋 | U字補強鉄筋                                         | 有効幅内にある躯体主鉄筋                                                                                                                                                                                             |

### 3. 合理化設計法の妥当性検証

合理化設計法の妥当性を検証するため、想定した最終破壊形態（水平押し抜きせん断）について、1/2縮小模型による構造実験を行い水平押し抜きせん断耐力を確認した。実験に先立ち事前解析としてコンクリートのひび割れを考慮した非線形FEMにより接合部における各種鉄筋に発生する応力および破壊モードを検討した。さらに、構造実験後に、実験で使用した各種材料の機械的性質を用いて事後解析を実施し、構造実験結果と併せて合理化設計法の妥当性を検討した。

図-4に構造実験と解析結果の概要を示す。供試体は、実構造物における設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>に対し、実験時の圧縮強度が40N/mm<sup>2</sup>となるように実験を行った。また、コンクリートの粗骨材の最大寸法G<sub>max</sub>は試験体の縮尺1/2を考慮し実構造物（G<sub>max</sub>=20mm）の約1/2とした。鉄筋および鋼殻には、実構造物と同じ規格の材料を使用した。

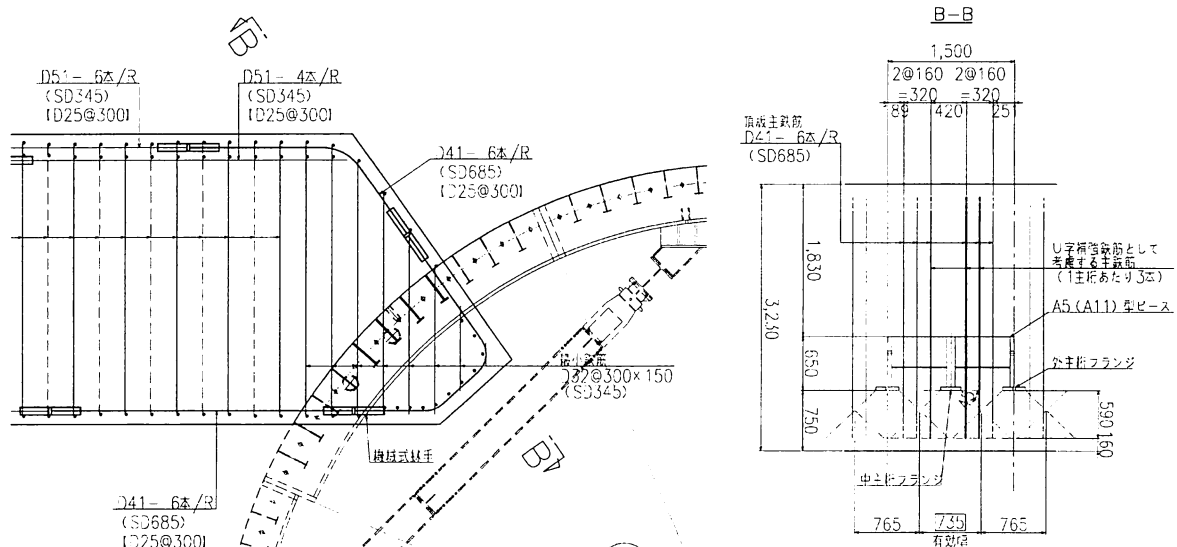


図-3 合理化設計法による接合部の配筋図

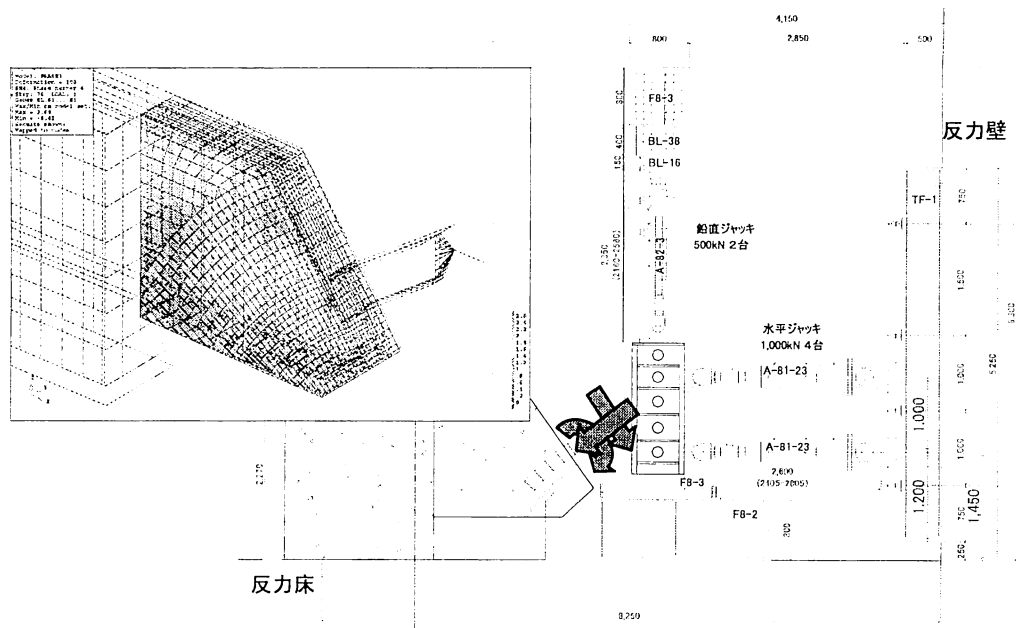


図-4 構造実験（1/2縮小模型による加力実験）加力装置の概要と事前解析結果（主応力図）

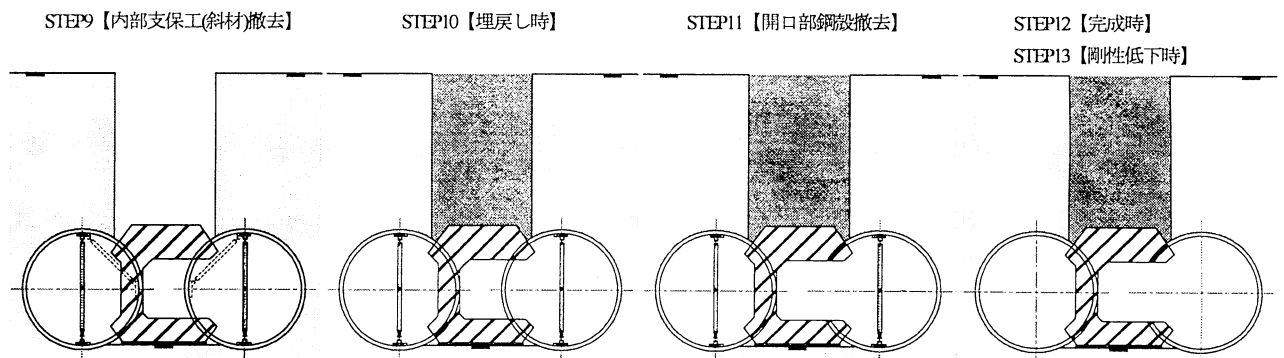


図-5 設計ステップ図

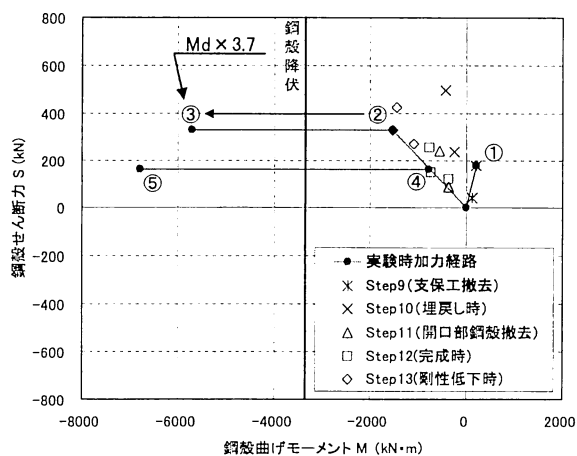
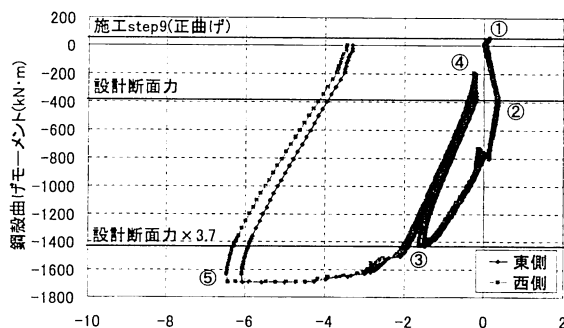
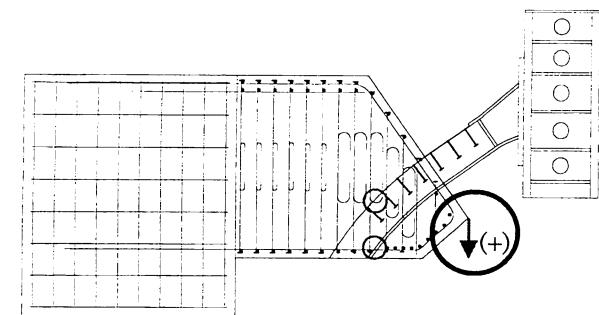


図-6 加力経路図

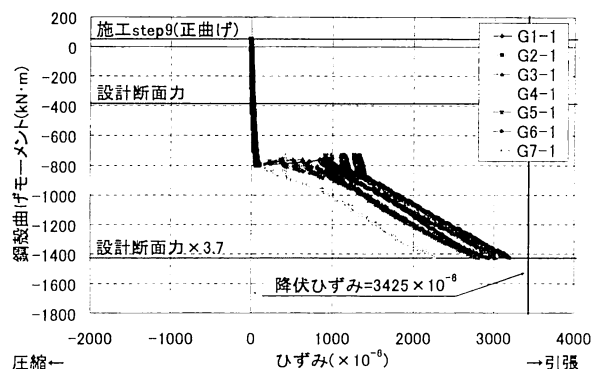
1/2縮尺に合わせ、鉄筋は断面積を  $(1/2)^2$ 、鋼殻主桁お

よびシアコネクタはコンクリートへの支圧面積を  $(1/2)^2$ 、主桁の断面二次モーメントを  $(1/2)^4$  相当になるよう形状を決定した。

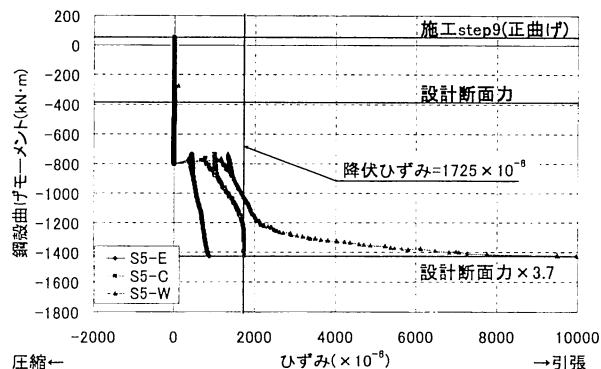
加力は鋼殻断面力に着目し、RC躯体表面位置における鋼殻に任意の組み合わせで曲げモーメント、せん断力および軸力が加力できるように、水平方向油圧ジャッキ（1 000kN×4台）および鉛直方向油圧ジャッキ（500kN×2台）を加力フレームを介して試験体に設置し、これらを制御して加力を行った。図-5に実構造物の施工手順を考慮した設計ステップを、図-6に構造実験における加力経路図を示す。加力経路は、設計ステップに対応し、トンネル内部支保工撤去時（step9）、埋戻し時（step10）、鋼殻切断撤去時（step11）、完成時（step12）、剛性低下時（step13、コンクリートのクリープ、ひび割れの影響を考慮）を勘案して鋼殻の曲げモーメント、せん断力および軸力の組み合わせ断面力を設定した。図-5は鋼殻曲げモーメントと鋼殻せん断力の関



(a) 鋼殻曲げモーメントと先端変位 (mm) の関係



(b) 鋼殻曲げモーメントと RC 躯体主筋ひずみの関係



(c) 鋼殻曲げモーメントと RC 躯体せん断補強筋ひずみの関係

図-7 実験結果

係であり、①～⑤の順番で加力経路を示す。事前に設定したゼロ→①→ゼロ→②（設計断面力）→③（設計断面

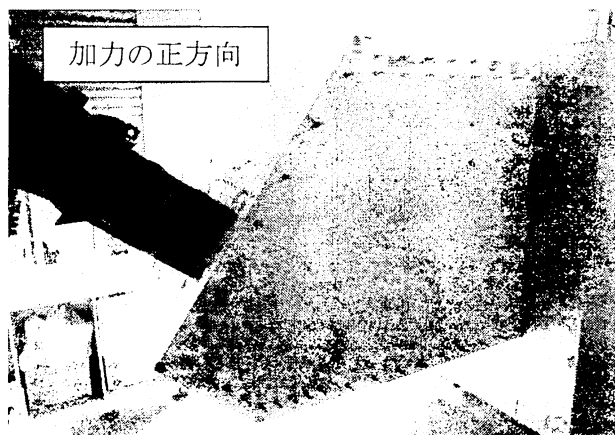


写真-1 実験終了時の状況

力の3.7倍)では破壊に至らなかった。そこで、④（設計断面力の1/2）まで除荷し鋼殻のせん断力を1/2に保持した状態で鋼殻の曲げモーメントを増加させた結果、⑤において曲げモーメントが増加せずに変位が増加する状態になったため加力を終了した。ゼロ→①→ゼロの加力経路では鋼殻の軸力をゼロに、その後は、714.6kNに保持した状態で実験を行った。

図-7に実験結果を示す。想定した最終破壊形態（水平押し抜きせん断）では破壊しなかったが、ひび割れの伸

展、各種鉄筋および鋼殻の降伏のタイミングは非線形 FEMの結果と良く対応しており、設計断面力に対して水平押し抜きせん断耐力は十分に余裕があることが確認できた。写真-1に実験終了時の状況を示す。

#### 4. おわりに

中央環状品川線五反田出入口では、中央環状新宿線の実績を踏まえ、切開き接合部の補強方法について設計施工の合理化を図ることができた。試算の段階であるが、接合部を含む部材周辺で約1～2割程度の鉄筋量の低減が見込まれる。今後、中央環状品川線の早期開業に向けて鋭意工事を進めてゆく予定である。

#### 参考文献

- 1) 土橋浩：分合流部を有するシールドトンネル拡幅構造接合部の応力伝達機構の実験的検証および数値解析による評価，2008。
- 2) 土橋浩，寺島善宏，川田成彦，大竹省吾，山田武正，堀宗朗，今田徹：鋼製セグメントと RC 躯体との接合部の設計方法に関する実験的研究，土木学会論文集 A，Vol.65，No.3，pp.718-737，2009。

Yoshiteru ISHIGURO, Yusuke IJIMA, Kumiko SUDA, and Masayoshi  
NAKAGAWA

The Gotanda on/off ramp structure of the Central Circular Shinagawa Route, Tokyo Metropolitan Expressway Ltd., Tokyo Japan is under construction. The structure of the Gotanda on/off ramp is a center merge/diverge type ramp which requires tunnel connecting structure between a main shield tunnel driven by EPBM and non-symmetrical U-shaped RC ramp structures constructed by mostly the open cut method. To accomplish a rational design of the tunnel connecting structure, series of structural studies including non-linear FE analysis and laboratory tests have been conducted. This paper introduces the result of the studies and especially focuses on the design configuration of the reinforcement of the composite structure between the steel segment and RC ramp structures.