

首都高速道路中央環状新宿線大橋JCTループ部の設計・施工 DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE OHASHI JUNCTION LOOP STRUCTURE

和田 新¹・高橋 邦博²・永井 淳一郎³・佐藤 卓哉⁴
Arata WADA・Kunihiro TAKAHASHI・Junichiro NAGAI・Takuya SATO

The Ohashi Junction is a loop-shaped junction that connects the Shinjuku Line and Shinagawa Line of the Central Circular Route with the Route No.3 Shibuya Line of the Tokyo Metropolitan Expressway passing over the Tamagawa Avenue (National Route No. 246). It is a large concrete structure 36 m high above ground and 35 m deep underground, with four layers of roads about 400 m long each (one turn), with a closed configuration to prevent adverse impact on the surroundings. The Tokyo Metropolitan government is redeveloping the urban district in the vicinity and with this project as a nucleus. The Governments of Tokyo Metropolitan, Meguro Ward and Metropolitan Expressway Company are jointly involved in the urban redevelopment, in which complex buildings are planned in the extent of redevelopment around the junction. There are the Tokyu Den-en-toshi railway line, common ducts, etc. All these impose numerous restrictions during and after construction.

This junction includes a large road tunnel built by the open excavation method. The loop structure was divided into 16 blocks for design and construction, with full consideration given to the surrounding circumstances. The temporary work prior to the main construction was designed using the caisson and steel continuous walls to minimize adverse impact on the environment. This paper reports the overview of the design and construction method of the loop sector of the Ohashi Junction.

Key Words : road tunnel, open excavation method, closed structure, caisson method, steel continuous walls

1. はじめに

大橋ジャンクション（以下JCTと略）は，玉川通り（国道246号）上の高架構造である首都高速3号渋谷線と，トンネル構造である中央環状新宿線及び中央環状品川線を接続するものである．その建設敷地は約25,000㎡と広大なため，東京都施行の市街地再開発事業を中核として，東京都，目黒区，首都高速道路㈱が一体となって周辺の街づくりを進めている．

JCTの周辺には建設予定である2棟の再開発ビル，東急田園都市線，共同溝等重要な近接構造物が多数存在しており，制約条件の多いことが特徴である．

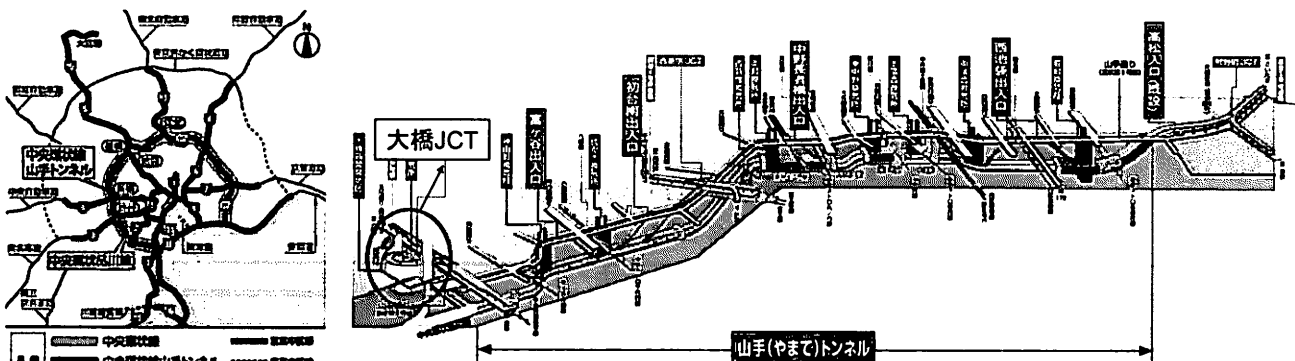


図-1 大橋JCT位置図

キーワード：道路トンネル，開削工法，覆蓋構造，ケーソン工法，鋼製連壁

- ¹ 正会員 首都高速道路㈱東京建設局設計第一グループ
- ² 正会員 首都高速道路㈱東京建設局大橋建設グループ
- ³ 正会員 鹿島建設㈱東京土木支店土木部技術グループ
- ⁴ 正会員 鹿島・大成・東急特定建設工事共同企業体

(1) JCTの概要

大橋JCTは、地下トンネル構造である中央環状新宿線及び中央環状品川線と高架構造である首都高速3号渋谷線（最大高低さ70m）を接続する1周約400mのループ状のJCTである。限られた敷地内で、この高低差を上下するために、通行車両はループ部を2周することとなる。このための走行空間としては、内回り及び外回りで合計4層必要であった。また、JCT周辺は住宅密集地であり、環境への十分な配慮も必要であったため、4層の覆蓋構造（鉄筋コンクリート造、高さ約40m～50m、幅約25m）とした。

(2) 設計概要

大橋JCTは用地取得の状況から先行して着手可能であった南側半分（以下南ループと略）と、残りの北側半分（以下北ループと略）に分けて設計を行った。南ループの周辺は住宅が多く、比較的近接する大規模構造物が少ないのに対し、北ループは再開発ビル等近接する大規模構造物が多数存在することが特長である。

大橋JCTの設計にあたっては、平成21年度に高速道路の供用を行う必要があるため、周辺の制約条件、施行ステップ等をきめ細やかに考慮して設計に反映するために、北ループで7ブロック、南ループで9ブロックの合計16ブロックに区域を分割して設計を行った。

なお、設計はブロック毎の代表断面にて、2次元フレーム解析を用いて設計を行った。ただし、橋梁の橋台となるブロック（南9B）等、応力状態が複雑だと思われるブロックについては一部三次元FEM解析を用いて設計を行った。以下の図-2にブロック割概念図を、表-1に各ブロックの設計概要を示す。

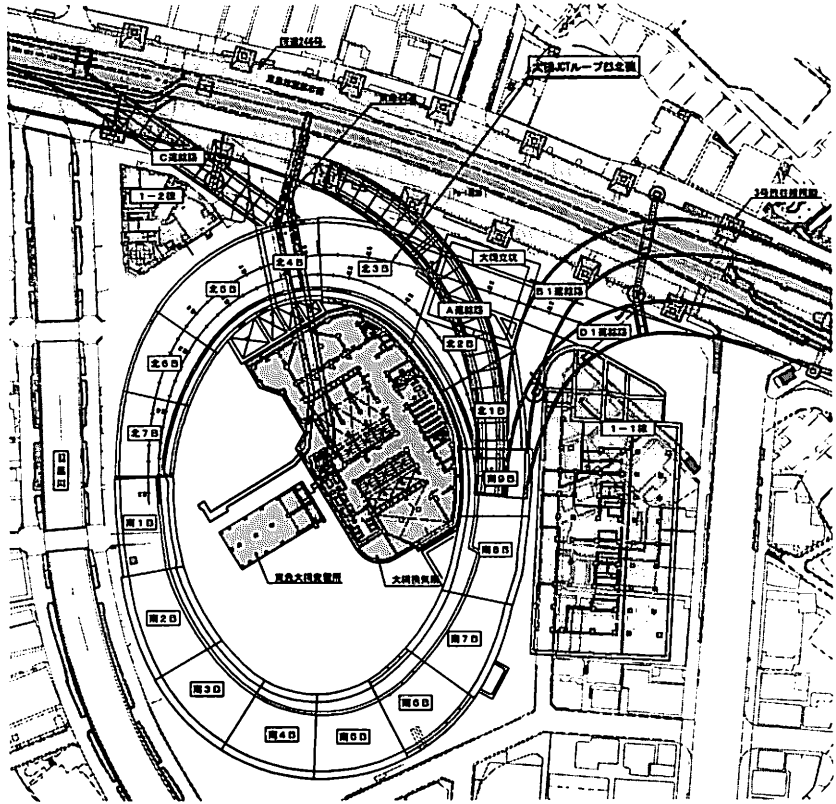


図-2 ブロック割概念図

表-1 各ブロックの設計概要

ブロック名	ブロックの特長	設計手法	備考
北1B	新設橋脚に近接	2次元フレーム	
北2B	シールド立坑兼用	2次元フレーム	立坑部をケーソン工法で先行施工
北3B	頂版上に新設橋脚	2次元フレーム	17ブロックに複数断面設定
北4B	側壁に橋台有	2次元フレーム	ループ内部への工事導線(ゲート)
北5B	再開発ビルに近接	2次元フレーム	
北6B～7B		2次元フレーム	
南1B～7B		2次元フレーム	
南8B	集中排気大開口有	3次元FEM	
南9B	橋梁橋台部	3次元FEM	

(3) 施工概要

大橋JCTは、用地取得時期や周辺地域との調整等の周辺環境要因、隣接地で同時施工している再開発事業等との調整によるヤード的要因により、各ブロックによって施工開始時期、施工ステップが異なっている。特に施工着手が遅かった北ループでは、平成21年度の供用に向けて制約条件が多数存在するなか、施工方法を検討し、逆巻き工法の採用等各ブロックで施工方法を変更する等の工夫をしている。

(4) 景観設計

大橋JCTは、「目黒川と国道246号を軸に、人にやさしく、歩く楽しみのあるしゃれた街並み景観づくり」を景観形成のテーマとして、周辺環境と調和する景観設計を行っている。大規模土木構造物である自動車専用道路のJCTをどのように「見せる」かを検討した結果、コロシウムをイメージしつつ、建築的な意匠的表現で外観をデザインした。基部となる下層部には、化粧型枠を用いて割肌面を持ったスリットリブで粗面を形成し、階層を分ける窓台の上に、縦長の三角断面スリット（擬似窓）を設置した。¹⁾

また、避難階段等の比較的規模の大きい道路付属物についても景観に配慮した設計を行っている。

(写真-1参照)

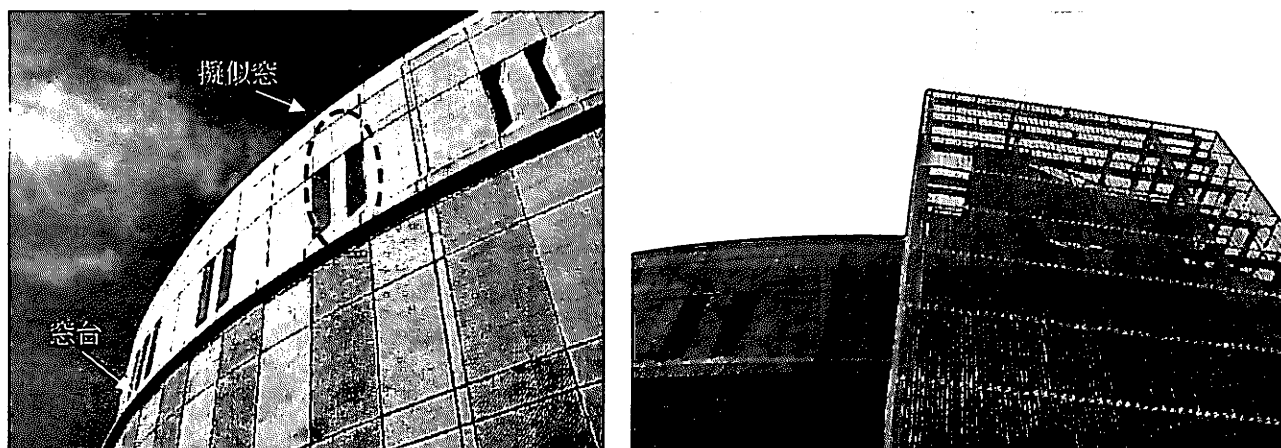


写真-1 大橋JCT現場写真

(左：一部完成している躯体外壁 右：有孔折板を使用した避難階段)

3. 仮設構造物の計画

大橋JCT周辺は住宅地であり、再開発ビル等の近接構造物が多数存在していることから、仮設構造物の決定には、周辺地域および構造物への掘削時の変位低減、施工の静粛性等が求められる。そのため特に近接構造物が多い北ループにおいては下記に示す特殊な工法を一部で採用している。

(1) ケーソン工法による大橋立坑の構築

中央環状新宿線のシールド部とループ部が接続する大橋立坑（北2B）は、新宿方の松見坂立坑より発進した本線シールドの到達・回転・再発進立坑の役割を担うが、工程短縮及び近接する国道246号、高速3号渋谷線高架、東急田園都市線等の近接構造物への掘削時影響低減を目的として、ニューマチックケーソン工法を採用した。

(2) 鋼製連壁による山留壁の構築

国道246号側のブロック（北3B）については、大規模掘削による周辺構造物への影響を避けるために、1.8 m厚の鋼製地中連続壁（本体利用）にて土留壁を構築した。

4. ケーソン工法による大橋立坑の構築

(1) 設計概要

大橋立坑には多くの要求機能と制約条件があり、施工時の構造検討には、ケーソンの設計手法として一般的な2次元モデルではなく、3次元の有限要素法を用いることとした。本稿では、この施工時検討について報告する。ケーソンの構造図を図-3に示す。

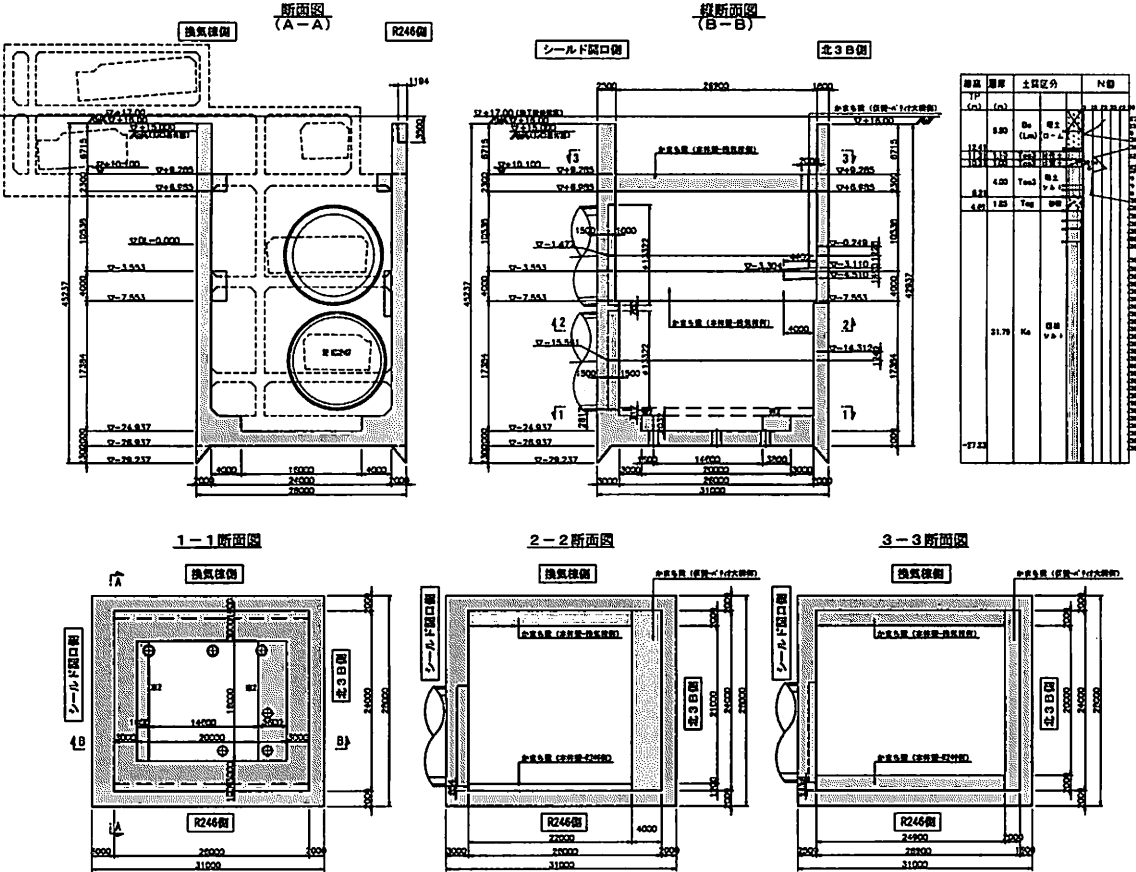


図-3 ケーソン構造図

a) 全体設計フロー

図-4に全体設計フローを示す。

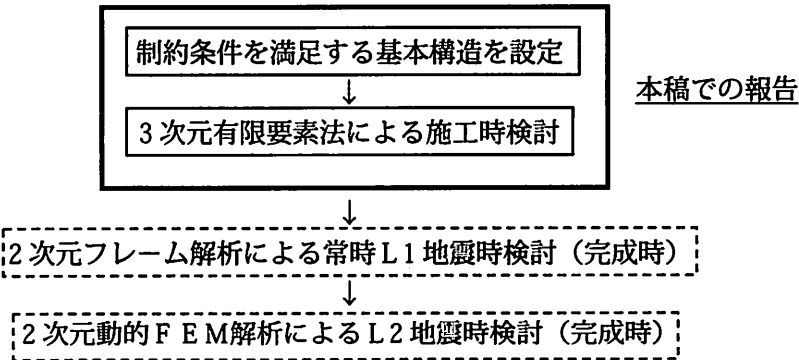


図-4 全体設計フロー

b) 基本構造の設定

諸々の制約条件を満足する基本構造を設定する必要があったが、特に工夫した構造上の特徴は下記のとおりである。

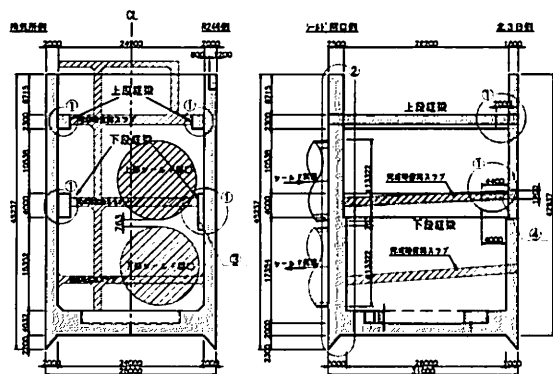


図-5 基本構造

- ①外形・内空の制約により部材厚に制限があること、ケーソン内には支保工が設置できないことから、上下2段のかまち梁を主構造部材とした。
- ②シールド開口側は、かまち梁を設置せず部材厚さを大きくすることにより構造を成立させた。このため、上記①のかまち梁はコ字構造となった。
- ③シールドの回転作業に必要な内空を確保するために、国道 246 号側の下段かまちは縦長断面とした。
- ④北 3B 側の下段かまちは、完成時の道路版として利用するために、勾配を有した構造とした。

c) 3次元有限要素法による施工時検討

・検討ケース

- ステップ1：初期沈設時
- ステップ2：最終沈設時
- ステップ3：上部シールド到達時
- ステップ4：シールドマシン吊り降ろし時
- ステップ5：下部シールド発進時
- ステップ6：仮完成時

・部材要素（図-6参照）

- 底板、側壁→シェル要素
- かまち梁 →ビーム要素

・荷重条件

検討ケース毎に荷重条件が変化するため、各々について設定した。考慮した主な荷重は、土圧・水圧・沈設時偏荷重・函内水圧・シールド吊り降ろし荷重・シールド推進力等である。（図-7参照）

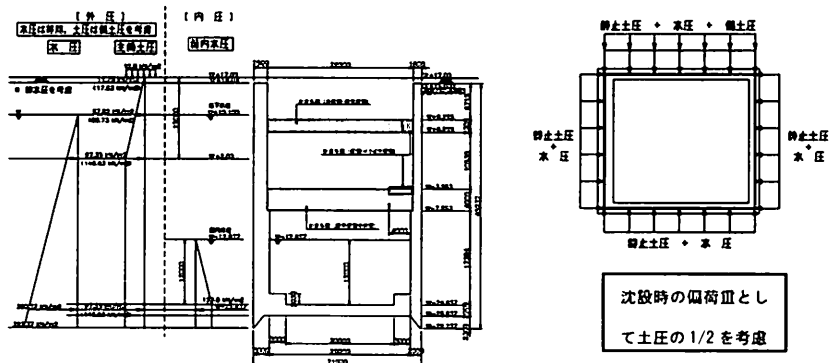


図-7 荷重条件（最終沈設時）

・検討結果

3次元解析のため鉛直・水平の両方向主筋となったことに加えて、各段のかまち梁とかまち梁を設置しないシールド開口側の側壁全体及び上下シールド開口間の側壁残置部分が、特に高密度配筋となった。（図-8参照）

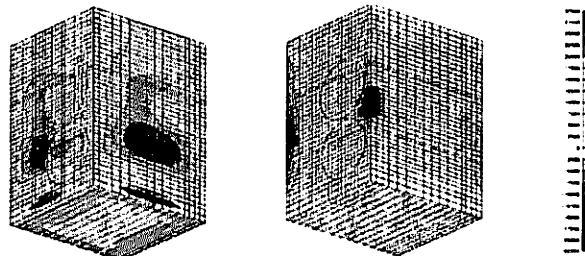


図-8 検討結果（左：鉛直 右：水平）

(2) 施工概要

ケーソン工法の工事仕様を表-2、主要工事数量を表-3、ケーソン断面図を図-9に示す。土質概要としては、図-9に示すように、施工基面(TP+15.0)よりGL-8.7mまでは軟弱な粘性土と砂質土の互層であり、GL-10.5mまではN値50以上の礫層、それ以深はN値50以上の土丹層となっている。なお、地下水位はGL-4.9mである。

表-2 工事仕様一覧表

項目	仕様
ケーソン形状	L31.0m×W28.0m×H45.2m
マテリアルシャフト	1m3×3基
マンシャフト	10～12人×3基
圧入設備	300t×8基
ABキャリア	土砂ホッパー 50m3×3台
ケーソンショベル	0.15m3×7台
アースオーガ	φ250×4台
スクリーコンプレッサー	145kW×4台
ホスピタルロック	2台
タワークレーン	180t・m×1基(ケーソン内部)
計画作業気圧	～0.28MPa
施工期間	2005.03.10～2008.11.07
沈没期間	2005.10.12～2008.09.19

表-3 主要工事数量一覧表

	工種	単位	数量
沈設工	セメント掘削工	m3	1,722
	沈下掘削工	m3	40,133
	中埋めコンクリート工	m3	1,737
	周面グラウト工	m3	39
構築工	鉄筋工	t	3,009
	エンクローズ溶接工	箇所	36,272
	型枠工	m2	9,318
	内部足場工	掛m2	3,823
	型枠支保工	空m3	4,780
	コンクリート工	m3	12,714
	外防水工	m2	3,810

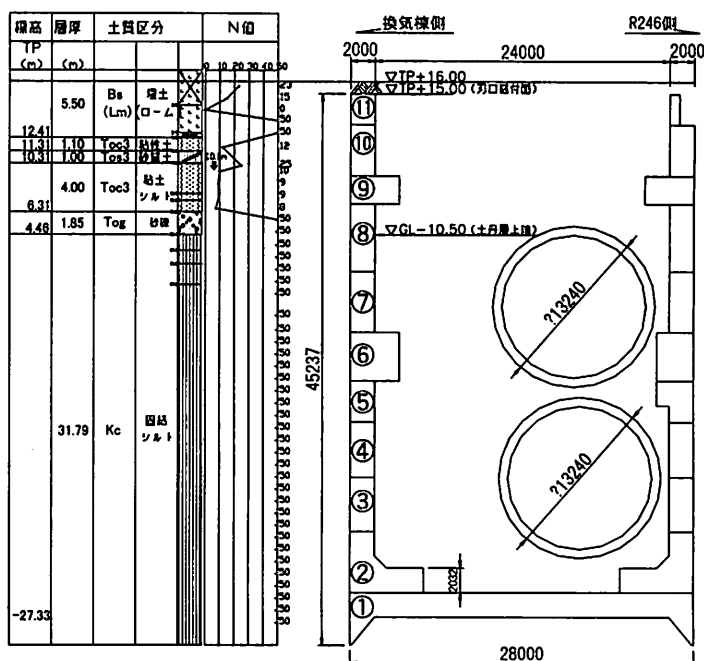


図-9 ケーソン断面図と土質柱状図

5. 鋼製連壁による土留壁の構築

(1) 設計概要

北3Bは、国道246号、首都高速3号渋谷線高架、東急田園都市線等に近接しての大深度掘削（掘削深さ約33m）であり、掘削時の影響を最小限にする必要があること、JCTの全体工程を確保するために北3B上部の橋梁橋脚を早期に設置する必要があることから、本体壁兼用（単独壁）の鋼製連壁による逆巻き工法を採用した。また、鋼製連壁の芯材は、仮設時（掘削時）検討、本設時（完成時）検討により国内最大級の芯材（桁高H=1500mm）を用いることとした。なお、北3Bの断面図を図-10に示す。

a) 設計手法と設計フロー

設計手法：慣用計算法（仮設設計と本設設計を分離して考える方法）

図-11に全体設計フローを示す。

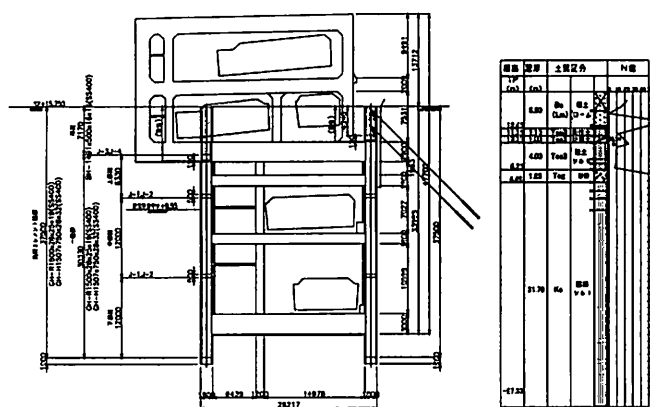


図-10 北3B断面図

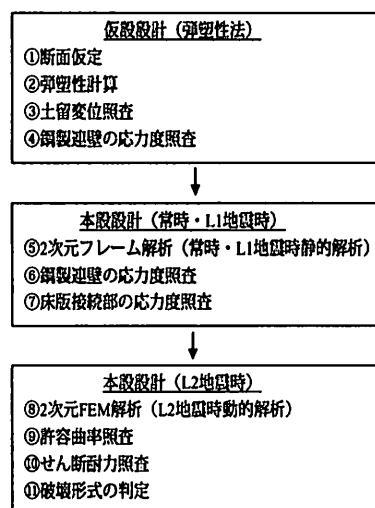


図-11 全体設計フロー

b)仮設計

・設計手法：弾塑性法

仮設計は、弾塑性法により解析を行った。

弾塑性検討時の土留壁の剛性は、鋼材剛性とひび割れを考慮した充填コンクリート剛性を累加したものをを用いた。

荷重条件としては、通常の上載荷重、土水圧に加えて、図-12 に示すように、鋼製連壁に近接して一次土留壁（柱列式中連続壁）があるため一次土留壁の掘削床付以深の受働側地盤の反力を鋼製連壁の頭部に水平力として載荷し考慮した。

また、近接構造物（国道 246 号、高速 3 号渋谷線高架、東急田園都市線）への 2 次元 FEM による影響検討の結果から、これらの近接構造物への掘削時の影響を低減するために、鋼製連壁土留壁の最大変位を 5.0mm 以内に抑制する必要があった。

土留変位の抑制対策としては、土留（鋼製連壁）剛性のアップ、切梁プレロード工法の採用、切梁剛性のアップ（部材仕様、切梁設置間隔）等を実施した。

c)本設計（常時・L1地震時）

・設計手法：2次元フレーム解析

常時・L1 地震時検討は、地盤バネで支持された 2 次元フレーム解析を行った。（図-14 参照）

換気所との取り付け部については、検討断面方向に対して換気所構造物が十分な奥行きと剛性があることから、換気所とループ躯体との間に設置されるダンパーを、弾性バネ支承として評価・モデル化した。

L1 地震時の検討は、前述モデルに水平震度 $K_h=0.20$ の死荷重慣性力と地震時土圧を考慮した静的解析により実施した。

d)本設計（L2地震時）

・設計手法：2次元動的 FEM 解析

L2 地震時検討は、各部材（躯体、地盤）の非線形特性を考慮した 2 次元動的 FEM 解析により、部材の耐力照査を行った。各部材について地盤は平面ひずみ要素、部材は梁要素によりモデル化を行った。（図-15 参照）

今回の鋼製連壁は、コンクリート充填タイプのため L2 地震時の非線形特性は RC 構造として評価した。

また、解析に用いた地震波は、図-16 を用いた。

躯体部分の側壁及び床の主鉄筋については、すべて常時・L1 地震時検討で決定しており、L2 地震時検討では一部のせん断補強鉄筋のみランクアップする結果となった。

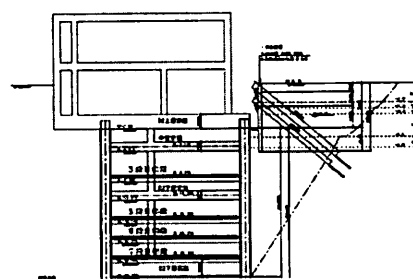


図-12 検討断面図（仮設計）

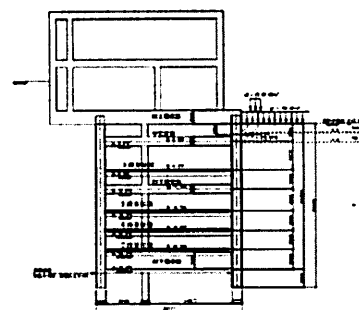


図-13 解析モデル図（仮設計）

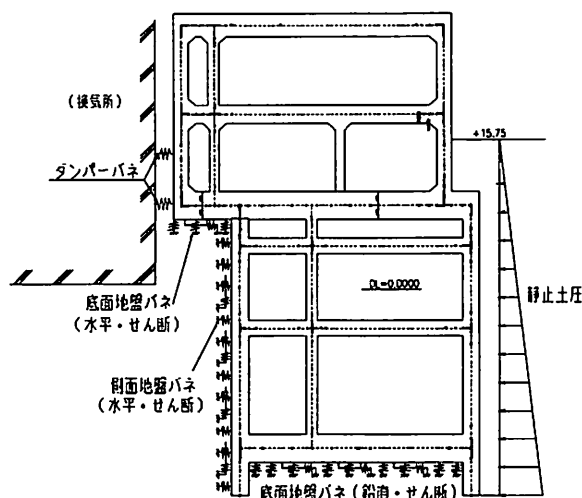


図-14 解析モデル図（常時・L1地震時）

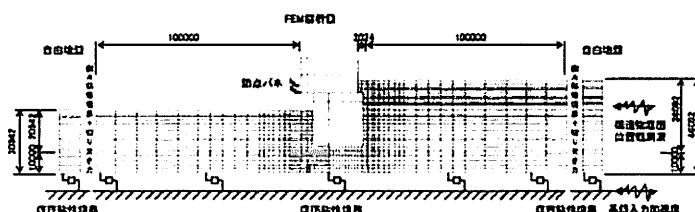


図-15 解析モデル図（L2地震時）

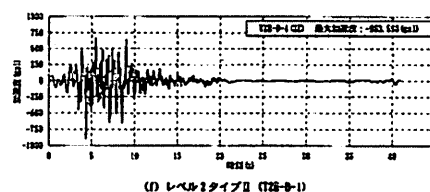


図-16 設計地震波（L2地震時）

a) 掘削機械の選定

b) 掘削機械の選定

c) 充填コンクリート

```

graph TD
    A[仮設工事] --> B[1次土留]
    B --> C[ガイドウォール設置]
    C --> D[作業床造成]
    C --> E[機械搬入・組立・据付け]
    E --> F[鋼製逆板壁工事]
    F --> G[先行エレメント]
    F --> H[後行エレメント]
    G --> I[掘削]
    I --> J[掘削 (水平回転多軸掘削機)]
    J --> K[防露板引抜き]
    J --> L[継手清掃]
    K --> M[スライム処理]
    L --> M
    M --> N[調整超音波測定]
    N --> O[NS-BOX建込み]
    O --> P[根固めモルタル打設]
    O --> Q[建込み]
    P --> R[防露板建込み]
    R --> S[コンクリート打設]
    S --> T[頭部処理]
    S --> U[砕石投入]
    U --> V[土砂分離装置設置]
    V --> W[安定液フラント設置]
    W --> X[安定液製造管理]
    X --> Y[土砂分離]
    Y --> Z[廃液処理]
    Z --> AA[泥土搬出]
    AA --> AB[土砂分離搬出]
  
```

The flowchart illustrates the construction process for a concrete bridge deck, divided into two main sections: **鋼製逆板壁工事** (Steel Inverted Formwork Work) and **コンクリート打設** (Concrete Casting).

鋼製逆板壁工事 (Steel Inverted Formwork Work):

- 先行エレメント (Lead Element):**
 - 掘削 (Excavation):** Indicated by a dashed box, leading to **掘削 (水平回転多軸掘削機)** (Excavation using a horizontal rotating multi-axis excavator).
 - 掘削 (水平回転多軸掘削機):** Leads to **防露板引抜き** (Removal of anti-exposure plate) and **継手清掃** (Joint cleaning).
 - 防露板引抜き** and **継手清掃** lead to **スライム処理** (Slime treatment).
 - スライム処理** leads to **調整超音波測定** (Adjustment ultrasonic measurement).
- 後行エレメント (Follow-up Element):** Leads to **NS-BOX建込み** (NS-BOX installation).

コンクリート打設 (Concrete Casting):

- NS-BOX建込み** leads to **根固めモルタル打設** (Grout mortar casting) and **建込み** (Installation, indicated by a dashed box).
- 根固めモルタル打設** leads to **防露板建込み** (Anti-exposure plate installation).
- 防露板建込み** leads to **コンクリート打設** (Concrete casting).
- コンクリート打設** leads to **頭部処理** (Head treatment) and **砕石投入** (Gravel input).

Other Processes and Equipment:

- 仮設工事 (Temporary Work):** Leads to **1次土留** (Primary soil retention).
- 1次土留** leads to **ガイドウォール設置** (Guide wall installation).
- ガイドウォール設置** leads to **作業床造成** (Working bed creation) and **機械搬入・組立・据付け** (Machine loading, assembly, and installation).
- 機械搬入・組立・据付け** leads to **鋼製逆板壁工事**.
- 土砂分離装置設置** (Soil separation device installation) leads to **安定液フラント設置** (Stabilizing liquid flange installation).
- 安定液フラント設置** leads to **安定液製造管理** (Stabilizing liquid production management).
- 安定液製造管理** leads to **土砂分離** (Soil separation).
- 土砂分離** leads to **泥土搬出** (Soil removal) and **土砂分離搬出** (Soil separation removal).
- 泥土搬出** leads to **廃液処理** (Waste liquid treatment).

表-4 鋼製連壁諸元

項目	単位	数量
壁 厚	mm	1,800
深 度	m	36.50~38.5
壁 延 長	m	73.3
掘削総体積	m ³	5407
コンクリート打設量	m ³	4180
30-65-20 (高流動コンクリート、中熱熟)	m ³	1521
30-65-20 (高流動コンクリート、低熱)	m ³	2659
根固め材料量	m ³	94.2
鋼材重量	t	1950
砕石量 (反力材)	m ³	638
エレメント数	EL	17

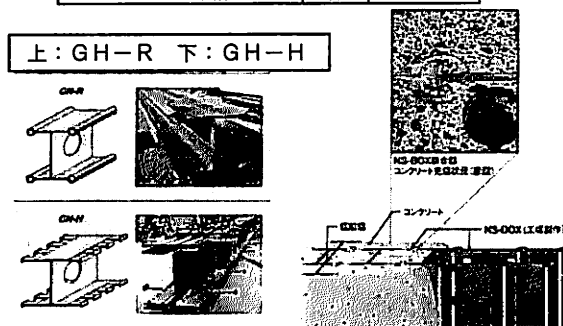


图-18 NS-BOX構造図

表-5 コンクリートの仕様

使用箇所	セメント種類	呼び強度 (N/mm ²)	G max (mm)	スランプ フロー値 (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	C (kg/m ³)
先行エレメント	中庸熱	30	20	65±5	3.0±1.5	39	450
後行エレメント	低熱						

参考文献

- 204 -