変動壁体温度も作用した円形自立山留め架構の挙動解析

(その2 RC山留め壁および地下壁の鉄筋応力)

ANALYSIS OF BEHAVIOR OF A CYLINDRICAL-SHAPE CANTILEVER
EARTH RETAINING STRUCTURE, AS AFFECTED
BY WALL TEMPERATURE VARIATIONS(Part 2 Stress interaction between reinforcing bars in RC earth retaining wall
and those in the underground structure wall)

風間 了*, 熊谷俊雄**

Satoru KAZAMA and Toshio KUMAGAI

The previous thesis (Part 1) presented a two-dimensional calculation method for a cylindrical earth retaining structure subjected to wall temperature variations, in addition to lateral pressures. In this study, the authors work out numerical analysis of mechanical behavior of a cylindrical RC earth retaining structure (144m in diameter and 30m in excavation depth). Especially, they take into account (a) the rigidity of the composite wall (earth retaining wall with RC basement wall), and (b) non-linear distribution of wall temperature variations in the composite wall. They compared the results with experimental data, and proved that the cross-sectional stress distribution of reinforcing bars in the composite wall is discontinuous across the interface of the earth retaining wall to the basement wall.

Keywords : Cylindrical-shape earth retaining structure, Wall temperatures, Stress of reinforcing bar

円形山留め架構、壁体温度、鉄筋応力

1. 序

同名論文(その1)¹⁾では、側圧に加え、壁体温度が作用した場合の、円形自立山留め架構の実用的解析方法として、シェル要素を考慮した2次元解析方法(弾性支承梁法)を提示し、検討してきた。同解析方法では、壁体温度を線形の「平均温度」と「温度差」に分離し、また側圧、平均温度および温度差が作用した同架構の挙動は、3者が独立に作用した場合の解の和として求めているが、3者の挙動解析には地盤反力を介して相互作用を考慮している。

さらに、上記の2次元解析方法の適用性を検討するため、実施工の大規模円形自立山留め架構^{2), 3)}の実挙動解析を行い、その解析結果を、文献3)に示した側圧作用時には2次元解析法を、壁体温度(平均温度+温度差)作用時には3次元FEMを適用した解析結果と比較検討している。同実施工では、根切りの進捗に伴い地下壁が順次逆打ちされているが、文献3)の解析では、山留め壁の挙動に主眼を置き、壁体温度は山留め壁の実測鉄筋温度を、鉛直方向の曲げ剛性は山留め壁の値を採用している。なお、逆打ち地下壁の剛性はリングばね(円周方向軸変形による水平ばね)の値にのみ考慮している。

上記の解析値は、実測値の変形、また鉛直および円周方向の曲げモーメント、円周方向の軸力と比較しているが、同曲げモーメントおよび軸力は、山留め壁の実測鉄筋応力の各成分から評価している。

一方、実施工の円形自立山留め架構は、先に述べた如く、根切りの進行に伴い地下壁が順次逆打(以下、この部分を合成壁)されている。その影響として、以下の事項が考えられる。

- i) 合成壁の鉛直方向曲げ剛性およびリングばね
- ii) 合成壁部分の非線形壁体温度分布
- iii) 山留め壁と地下壁の鉄筋応力の相互作用

上記iii)に関する、合成壁断面の鉄筋応力分布は、山留め壁と地下壁の境界で不連続になり、同部分の実測値としての曲げモーメントは実測鉄筋応力から一義的に求められない⁵⁾。

そこで、本研究では、上記i)、ii)を導入した2次元解析を実施工の円形自立山留め架構²⁾について行い、実測値の変形、また特に山留め壁および合成壁の鉛直、円周方向の実測鉄筋応力を直接的に解析している。また、鉛直方向の実測鉄筋応力を検討するため、平均温度作用時の鉛直方向の挙動解析¹⁾も同時に行っている。

* 早稲田大学理工学総合研究センター 教授・工博

** 東電設計(株)建築設計部構造設計グループ
マネージャー・工博Prof., Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Dr. Eng.
Tokyo Electric Power Service Co., Ltd., Architectural & Structural Eng. Dep., Dr. Eng.

2. 非線形壁体温度分布と断面応力の補正

各根切り段階における壁体温度分布は、これまでの研究^{3), 4)}の場合と同様に、実測鉄筋温度の分布を「平均温度」と「温度差」に分離し、挙動解析に導入している。以下に、その設定方法について述べる。

2-1 山留め壁断面の平均温度と温度差

壁が山留め壁のみの場合、同断面内の温度分布は、壁の背面側および根切り側の温度(T_{out} , T_{in})を結んだ直線分布としている。この場合の平均温度(T_a)と温度差(T_d)は、下式で与える。

$$T_a = (T_{in} + T_{out})/2, \quad T_d = (T_{in} - T_{out})/2 \quad (1)$$

2-2 合成壁断面の等価平均温度と等価温度差

山留め壁に地下壁が逆打ちされた合成壁断面内の温度分布は、山留め壁と地下壁の境界で不連続の非線形となる。

そこで、合成壁部分の非線形壁体温度分布作用時の、山留め架構の挙動解析に、線形温度分布(平均温度、温度差)作用時の挙動解析方法¹⁾を適用するため、非線形壁体温度分布を、以下に示すように、「等価平均温度」と「等価温度差」に分離、評価している⁶⁾。

図-1(a)に、合成壁部分の実測鉄筋温度分布の一例を白丸印で、下記の Step 1 に基づく近似曲線を破線で示した。また、in は根切り側を、out は壁の背面側を、S1~S4 は鉄筋番号を示している。

Step 1: 実測温度分布を下式の2次曲線 $[T_{ap}(x)]$ で近似する。なお、係数 a , b , c は、S1~S4 の実測値に最小二乗法を適用し、求める(x : 壁の中心からの距離)。

$$T_{ap}(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (2)$$

Step 2: (2)式の、(1)式に対応する等価平均温度(eT_{av})および等価温度差(eT_{df})を、以下の条件より算定する。

等価平均温度(eT_{av}): T_{ap} と eT_{av} の温度分布の面積を等価
等価温度差(eT_{df}): $x=0$ に対する T_{ap} と ($eT_{av} + eT_{df}$) の温度分布のモーメントが等価

図-1(b)には、上記の条件より求めた同図(a)の等価平均温度、等価温度差(eT_{av} , eT_{df})を、(2)式の近似曲線と対比して示した。なお、この場合の eT_{df} は、負の値である。

一方、上記の等価温度(eT_{av} , eT_{df})を導入し求めた、合成壁断面内の応力度(歪み度)分布については、実測温度の近似曲線[(2)式]と等価温度(eT_{av} , eT_{df})との差異(以下、補正温度)による応力補正を行う必要がある。この補正温度により発生する自由歪み度(無拘束)に対応する応力を、一般に「自己平衡応力」と呼んでいる⁷⁾。

2-3 補正温度分布による壁断面応力の補正

本解析での、非線形壁体温度作用時の、補正温度による壁断面内の応力補正は、以下に示すように行っている。

補正温度 $[dT_{df}]$: 図-1(b))は、下式で与えられる。

$$dT_{df}(x) = T_{ap}(x) - (eT_{av} + \frac{2 \cdot eT_{df}}{t} \cdot x) \quad (3)$$

例えば、側圧、等価平均温度および等価温度差が作用した場合の、円周方向の曲げモーメントを eM_ϕ とすると、その断面内の応力分布 $[e\sigma_{M\phi}(x)]$ は(4)式で与えられる。この値に、(3)式の補正温度による(5)式の応力度分布[STF]を加算すれば、非線形壁体温度分布作用時の円周方向の曲げ応力分布 $[\sigma_{M\phi}(x)]$ が、(6)式のように求められる。なお、鉛直方向の応力度分布も同様に算定できる。

$$e\sigma_{M\phi}(x) = \frac{eM_\phi}{Z} \cdot \frac{2 \cdot x}{t} \quad (4)$$

(a) 実測温度と近似曲線 (b) 等価温度と補正温度

図-1 合成壁部分の非線形温度分布の近似[S1-S4: 鉄筋番号]

(a) 地盤、山留め架構 (b) 水平解析モデル (c) 鉛直解析モデル

図-2 地盤、円形自立山留め架構(内径: 144m)および解析モデル
[E_{s1} , K_{F1} (*10 kN/m²)]

$$STF = -dT_{df}(x) \cdot E_t \cdot E_c \quad (5)$$

$$\sigma_{M\phi}(x) = e\sigma_{M\phi}(x) + STF \quad (6)$$

ここで、 Z : 断面係数、 t : 壁厚、 E_t , E_c : コンクリートの線膨張係数およびヤング率

3. 円形自立山留め架構および解析モデル

本研究の実挙動解析は、実施の円形自立山留め架構²⁾について行っているが、その概要および解析モデルを以下に示す。

3-1 地盤および山留め架構

図-2(a)に、地盤条件および円形山留め架構の断面、根切り段階を示した。また、同図には、解析に適用した、変形 $y=1$ cm 時の、基準変形係数 E_{s1} 値および基準摩擦ばね定数 K_{F1} 値も併記した。

円形自立山留め架構は、RC 造で、内径が 144m、基礎底版深さ(7次根切り)が 29.2m ある。山留め壁を構成する G.L.-44m 以浅の構造壁の壁厚は $t=2.4$ m、同以深~G.L.-70m 間の止水壁としての壁厚は $t=1.2$ m である。また、壁厚 $t=2.0$ m の地下壁が根切りの進行に伴い順次逆打ちされている。

3-2 解析モデル

図-2(b)に、側圧、平均温度および温度差が作用した場合の水平方向の挙動解析モデルを、また同図(c)には、平均温度作用時の鉛直方向の解析モデルを示した。

両解析モデルの場合とも、変形係数、摩擦ばねの非線形性状およ

び合成壁の曲げ剛性、リングばねを実状に即し解析に導入するため、地盤および壁を多層(M=70)に層分割している。

4. 円形自立山留め架構の挙動解析方法および解析条件

以下には、側圧、壁体温度が作用した場合の円形自立山留め架構の挙動解析方法および解析条件を示す。

4-1 挙動解析方法

側圧、平均温度、温度差が作用した場合の水平挙動および平均温度が作用した場合の鉛直挙動の各解析には、同名論文(その1)¹⁾で示した2次元解析方法を適用している。

4-2 解析条件

本研究における側圧、平均温度および温度差が作用した実挙動解析の解析条件等は、以下の通りである。なお、これまでの実挙動解析³⁾では、山留め壁部分の水平挙動を解析対象としているが、その解析条件等を、[]内に対比して示した。

- i) 解析方向：水平および鉛直 [水平方向]
- ii) 曲げ剛性およびリングばね：山留め壁、合成壁
[曲げ剛性：山留め壁、リングばね：山留め壁、合成壁]
- iii) 地盤の変形係数、摩擦ばね：非線形 [変形係数：弾性]
- iv) 壁体温度分布(実測値)
合成壁部分：非線形、山留め壁部分：線形 [山留め壁：線形]
- v) 解析値と比較する実測値：変形、鉛直および円周方向の鉄筋応力 [変形、鉛直および円周方向の曲げモーメント、軸力]

側圧、平均温度、温度差が作用した水平挙動は、それぞれ独立に解析を行い、これらの解を合計し求めているが、三者の相互作用は、三者作用時の各解析に、三者の変形の合計値(y_T)で評価した変形係数 $[E_s(y_T):非線形]$ を採用¹⁾することにより、考慮している。

これまでの解析³⁾は、各測点の実測値の平均値について行っているが、本研究では、鉄筋応力も解析しているため、各測点の壁体温度、鉄筋応力のバラツキを考慮し、A主測点²⁾を解析対象とした。

4-3 変形係数および摩擦ばね

解析時の変形係数(E_s)および摩擦ばね(K_F)の非線形形状は、文献1)に示した手法で、挙動解析に導入している。

先の図-2(a)に示した、変形 $y=1\text{cm}$ 時の基準変形係数(E_{s1})は文献1)の値にほぼ対応させている。

また、 $y=1\text{cm}$ 時の基準摩擦ばね定数(K_{F1})の値は、(7)式の評価

式⁸⁾による K_{F0} を、弾性理論から求めた杭の摩擦ばねと杭径との関係⁹⁾から低減し、(8)式で評価している。

$$K_{F0} = 3.3 \cdot N (\text{kN/m}^2/\text{cm}) \quad (7)$$

$$K_{F1} = 0.4 \cdot K_{F0} \quad (8)$$

4-4 側圧および壁体温度分布

各根切り時の側圧分布は、文献1)の分布と同一にしている。

平均温度(等価平均温度：合成壁部分)および温度差(等価温度差)は、実測鉄筋温度から評価し、また逆打ち地下壁部分の壁体温度の初期値は、同部分のコンクリート打設直前の値としている。

図-3(a)に、実測温度から評価した、各根切り間の増分平均温度(等価平均温度：合成壁部分)を黒丸印で、これらの値をモデル化し解析に導入した平均温度分布を実線で示した。同図には、合成壁部分の壁中央位置 $[x=0:\text{図-1}]$ の壁体温度[(2)式のcの値]を白丸印で、そのモデル化分布を破線で併記した。

また、図-3(b)には、実測値の増分温度差(等価温度差：合成壁部分)を黒丸印で、そのモデル化分布を実線で示した。

解析に導入した増分平均温度および温度差には、鉄筋温度の測定間隔が密でないため、ある程度の誤差を有していると言える。なお、合成壁部分の等価平均温度と壁中心の温度の差異[図-3(a)]は、合成壁の壁体温度分布(図-1)の非線形性に関係している。

4-5 鉄筋応力

円周方向の鉄筋応力は、側圧、平均温度および温度差作用時の水平挙動解析結果の、円周方向曲げモーメントおよび円周方向軸力より、弾性論に基づき求めている。

一方、鉛直方向の鉄筋応力は、側圧、平均温度および温度差作用時の水平挙動解析結果の鉛直方向曲げモーメント、および平均温度作用時の鉛直挙動解析結果の軸力より求めている。

また、合成壁部分の、円周および鉛直方向の鉄筋応力については、非線形壁体温度分布の補正温度による補正(2-3節)を行っている。

5. 円形自立山留め架構の実挙動解析

本章では、前述の解析方法および解析条件を適用した自立円形山留め架構[図-2(a)]の実挙動解析結果について示す。

挙動解析時に特に問題となる逆打ち地下壁の壁体温度の初期値は、4-4節で述べた如く、地下壁のコンクリート打設直前の値としているが、解析対象の各根切り時の壁体温度はほぼ安定している²⁾。

図-3 根切り間の増分壁体温度分布 [黒丸、白丸：実測温度、実線、鎖線：モデル化]

一方、特に、逆打ち地下壁の鉄筋応力は、コンクリート打設後の、壁体温度の上昇→下降→安定に至る過程、またコンクリートの硬化等の影響を大きく受けるため、初期値の設定が極めて困難である。

そこで、以下の山留め壁および合成壁の鉄筋応力に関しては、根切り間の増分値について示している。

5-1 壁頭を Free とした実挙動解析 (CASE 1)

本節で示す CASE 1 の解析条件としては、水平および鉛直挙動解析の場合とも、壁頭および壁先端は Free としている。

5-1-1 変形曲線、曲げモーメントおよび軸力分布

図-4(a)~(f)には、1次、3次、5~7次の、水平方向変形、鉛直方向曲げモーメント、円周方向の軸力および曲げモーメント、鉛直方向の変形および軸力の、解析結果の各分布を実線で示した。

同図(a)には、実測値の変形および根切り時の月も示している。

解析値の水平方向変形は、特に5次、6次根切り時の実測値に現れる片持ち梁の性状と異なっているが、気温(壁体温度)の下降→上昇→下降に伴う実測値の、根切り底以浅の変形の変動状況³⁾をほぼ説明している。壁頭近傍の変形は5-2節でさらに検討している。

また、鉛直および円周方向の曲げモーメント、軸力分布の各値は、次項の鉄筋応力の算定に適用している。

鉛直挙動解析より求めた平均温度作用時の鉛直方向変形は、1次根切りからの同温度の降下に伴い壁頭では沈下を、壁先端では浮き上がりを示し、壁は平均温度により収縮している。この場合の鉛直方向の軸力は、引張り応力となっているが、これは平均温度による自由変形(無拘束)を地盤の摩擦力が拘束しているためである。

図-4 解析値(実線)の変形、曲げモーメントおよび軸力分布と実測変形 (CASE 1)

5-1-2 鉄筋応力分布 (CASE 1-1、CASE 1-2)

以下には、前項 CASE 1 (壁頭: Free) で、合成壁の非線形壁体温度分布における応力補正 [2-3 節] を無視した場合 (CASE 1-1) と同補正を行った場合 (CASE 1-2) の、鉄筋応力の解析結果について示す。

なお、上記の応力補正の有無は、先の図-4 に示した変形等の各値に影響しない。

図-5 (a)~(d) には、CASE 1-1 の、円周および鉛直方向の増分鉄筋応力 (根切り間) を、解析値と実測値を対比して示した。S1、S2 は山留め壁の、S3、S4 は逆打ち地下壁の鉄筋 (図-1) である。

また、図-6 (a)~(d) には、非線形壁体温度分布における応力補正を行った CASE 1-2 の場合を示した。

円周方向の鉄筋応力の場合、山留め壁 (S1、S2) の解析値は、CASE 1-1、CASE 1-2 の場合とも、2 次増分 (2nd-1st) ~ 5 次増分時の根切り底以深で、実測値に比して相対的に小さな値を示している。

一方、合成壁部分の S1、S2 では、CASE 1-1 の場合、例えば、5 次増分時、7 次増分時において、解析値の S1 (実線)、S2 (破線) の鉄筋応力の大小は、実測値の S1 (黒丸)、S2 (白丸) と部分的に逆転しているが、CASE 1-2 の S1 と S2 の関係は、実測値のそれと、全体的に良く対応していると言える。

また、逆打ち地下壁の、円周方向鉄筋応力 (S3、S4) の場合も、補正温度を考慮した CASE 1-2 の解析値は、CASE 1-1 の値に比較して、値的にも全体的に実測値の性状を良く説明していることが判る。

図-5 非線形壁体温度の応力補正無し、の根切り間の増分鉄筋応力 (CASE 1-1) [実線、破線: 解析値、黒丸、白丸: 実測値]

鉛直方向の山留め壁 (S1, S2) の鉄筋応力の場合、両 CASE の値は、1 次根切り時で実測値と異なっているが、それ以後の根切り時には、特に CASE 1-2 の値が、実測値の分布性状をほぼ説明している。

また、地下壁の鉄筋応力の場合、CASE 1-1 の S3, S4 の解析値は、実測値の性状とかなり異なっているが、応力補正を行った CASE 1-2 の解析値は、実測値の性状とほぼ対応していると言えよう。

5-2 壁頭に回転ばねを導入した実挙動解析 (CASE 2)

5-1-1 項に示した CASE 1 (図-4) の変形は、特に 5 次根切り以降で壁頭近傍の実測性状と異なっている。

そこで、本節では、壁頭近傍の実測値の変形性状を検討するため、CASE 2 として、壁頭に回転ばねを導入した挙動解析を行った。

5-2-1 壁頭の回転ばね

壁頭の回転ばねは、壁頭が背面側に回転した場合を対象とする。

図-7 に、地表面に打設された施工用の RC 作業床 (幅: 10m、厚さ: 50cm) による地盤の回転ばねの解析モデルを示した。

回転ばね (KR) は、RC 作業床が壁外端を回転中心とし、剛体回転するものとし、以下に示す二通りの地盤の鉛直ばね (K_V) より算定している。

(i) 弾性論に基づく正方形基礎の鉛直ばね定数¹⁰⁾

$$K_V = \alpha \cdot K_{VC} = \alpha \cdot \frac{4 \cdot r_e \cdot G}{1 - \nu} \quad (9)$$

図-7 KRの解析モデル

図-6 非線形壁体温度の応力補正有りの、根切り間の増分鉄筋応力 (CASE 1-2) [実線、破線: 解析値、黒丸、白丸: 実測値]

図-8 壁頭に回転ばね(3rd-5Ex.)を導入した、変形曲線、増分鉄筋応力(CASE 2) [実線、破線: 解析値、黒丸、白丸: 実測値]

(9)式において、 K_{VC} ：等価円形基礎の鉛直ばね定数、 r_e ：等価半径、 G 、 ν ：表層地盤のせん断剛性、ポアソン比、 α ：(=1.1)補正係数
(ii) 地盤の水平方向変形係数(E_s)の値とした場合

$$K_v = E_s \quad (10)$$

(9)式による K_v の算定では、基礎を10m角、 G の値をG.L.～G.L.-20m間の平均せん断波速度($V_s=200\text{m/sec}$)および土の γ を 16KN/m^3 として求めた値、 ν を0.33としている。この場合の山留め壁幅1m当たりの鉛直ばね定数は、 $K_v=2.17 \times 10^4 (\text{KN/m})$ となる。

また、(10)式による K_v は、以下のように評価した。

次項に示す挙動解析結果の、壁頭回転角より求めた作業床外端(図-7)の鉛直変形は、0.3～0.6mm程度と小さい。この値と E_s の非線形性状¹⁾を考慮して、 K_v の値は、G.L.～G.L.-10m間の変形 $y=1\text{cm}$ 時の E_{s1} の値(図-2)を4倍した $2.8 \times 10^4 (\text{KN/m})$ と評価した。

上記の(9)式、(10)式の K_v を採用した壁幅1m当たりの回転ばね定数は、 $KR=7.2 \times 10^6$ および $9.3 \times 10^6 (\text{KN} \cdot \text{m/rad.})$ となる。そこで、以下の解析の回転ばね定数は、 $KR=8.0 \times 10^6 (\text{KN} \cdot \text{m/rad.})$ としている。

5-2-2 変形曲線および鉄筋応力分布

本項の実挙動解析では、根切り間の、壁頭の増分変形が、壁背面側に回転(図-7)する3次(3rd-2nd)、4次および5次増分時に、前項に述べた回転ばね定数(KR)を壁頭に導入している。なお、壁頭の増分変形が壁背面側に回転を起こす主要因は、図-3に示した如く、増分平均温度の上昇によることが判る。

図-8(a)には、壁頭に回転ばねを導入した、各根切り時における解析値の変形曲線を実測値と対比して示した。また、同図(b)、(c)には、円周方向の山留め壁(S1、S2)および地下壁(S3、S4)の増分鉄筋応力(根切り間)を、解析値と実測値を対比して示した。さらに、同図(d)、(e)には、鉛直方向の増分鉄筋応力の場合を示した。

本解析の変形曲線は、実測値の、気温(壁体温度)の変動に伴う根切り底以浅の変形の変動³⁾に加えて、先に示した壁頭Freeの図-4(a)の場合に比して、特に3次根切り以降の壁頭近傍の分布性状もよく説明していることが判る。

円周方向の増分鉄筋応力の、本解析値と実測値の相関性は、各根切り間とも、図-6(a)、(b)のそれとほぼ一致している。これは、壁頭の回転ばねが円周方向の挙動にほとんど関与しないためである。

一方、鉛直方向の増分鉄筋応力の場合、壁頭の回転ばねの影響は、山留め壁の壁頭近傍の鉄筋応力に現れ、特に3次および4次増分時のS1の解析値が、図-6(c)の値に比して増加し、実測値に近づいているとも見受けられる。また、同根切り間の、逆打ち地下壁の解析値に与える回転ばねの影響は、極めて小さく、図-6(d)の値とほぼ同じ値を示している。

5-2-3 合成壁断面の円周および鉛直方向の鉄筋応力分布

以下には、合成壁断面の円周および鉛直方向の鉄筋応力分布の一例を、解析値と実測値を対比して示す。

図-9(a)、(b)には、7次増分(7th-6th)時の、鉄筋応力が比較的大きい約G.L.-20m位置(合成壁)の、円周および鉛直方向の鉄筋応力分布を、解析値と実測値を対比して示した。

解析値の鉄筋応力の値は、円周および鉛直方向の場合とも、実測値と必ずしも良く一致していないが、実測値のS1～S4の大小関係を伴う引張り、圧縮の分布性状、また山留め壁と逆打ち地下壁の不連続性等を、全体的に説明していると判断される。

(a) 円周方向 (b) 鉛直方向
図-9 合成壁断面の鉄筋応力分布(7th-6th, G.L.-20m)
[実線:解析、破線:実測]

6. 結 語

本研究では、同名論文(その1)で提示した2次元解析法を適用し、逆打ち地下壁も一体とした円形自立山留め架構の実挙動解析を行ってきた。この解析では、特に合成壁部分の非線形壁体温度分布を等価平均温度と温度差に置換し、また非線形温度分布と等価温度分布の差異による鉄筋応力の補正も行っている。さらに、鉛直方向の鉄筋応力を検討するため、鉛直方向の挙動解析も同時に行っている。

山留め架構の変形に関しては、これまで説明されていない3次根切り以降の、壁頭近傍の変形が根切り側に跳ね返る実測値の性状を、壁頭に回転ばねを導入することにより、ほぼ説明できたとと言える。

また、挙動解析には、深度方向の壁体温度分布および合成壁断面内の非線形壁体温度分布を、測定間隔(深度方向)が粗い実測鉄筋温度をモデル化し、導入しているが、解析値の円周および鉛直方向の鉄筋応力は、実測値の山留め壁および逆打ち地下壁部分の分布性状をかなり良く説明できたと判断される。

以上、自立円形山留め架構の実挙動解析結果は、直接の実測値である変形、円周方向および鉛直方向の鉄筋応力と良く対応し、逆打ち地下壁および非線形壁体温度分布も導入した本2次元挙動解析方法は、実用的と判断される。

参考文献

- 1) 風間了、熊谷俊雄：変動壁体温度も作用した円形自立山留め架構の挙動解析(その1. 弾性支承梁による2次元解析方法)、日本建築学会構造系論文集 第590号、pp.63～69、2005.4
- 2) 有泉浩蔵、熊谷俊雄、柏木淳男、安達俊夫：大規模円形自立山留め架構の設計法に関する研究(その1. 大規模円形自立山留め架構の実挙動)、日本建築学会構造系論文集 第542号、pp.107～114、2001.4
- 3) 熊谷俊雄、有泉浩蔵、柏木淳男：大規模円形自立山留め架構の設計法に関する研究(その2. 大規模円形自立山留め架構の実挙動解析)、日本建築学会構造系論文集 第570号、pp.93～100、2003.8
- 4) 熊谷俊雄、有泉浩蔵：温度変動作用時の円筒山留め壁の解析手法、日本建築学会構造系論文集 第568号、pp.99～106、2003.6
- 5) 風間了：逆打ち工法を用いた山留め挙動(その5. RC山留め壁および合成壁の鉄筋応力)、日本建築学会構造系論文集 第579号、pp.55～62、2004.5
- 6) 熊谷俊雄：壁体温度変動も考慮した大規模円形自立山留め架構挙動解析方法に関する研究、博士論文(早稲田大学)、2004.3
- 7) A.Ghali, R.Favre(川上、樫福、他訳)：コンクリート構造物の応力と変形、技報堂、pp.27-30、1995
- 8) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2001
- 9) 三浦正吾、風間了：支持杭の摩擦バネ定数および杭先端バネ定数、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.691～692、1999.9
- 10) 竹内盛雄、風間了、箕輪伸喜、許斐信三：長方形基礎の静的バネ定数(その1. 分割法)、第8回土質工学研究発表会講演集 pp.581～584、1973.6

(2005年3月7日原稿受理、2005年6月22日採用決定)