

地下連続壁の温度ひび割れ評価方法 に関する研究

木村克彦¹・中原邦昭²・黒田正信³・梅原秀哲⁴

¹正会員 工博 清水建設株式会社技術研究所 (135 東京都江東区越中島 3-4-17)

²正会員 工修 清水建設株式会社機械本部

³正会員 清水建設株式会社土木本部

⁴正会員 Ph.D. 名古屋工業大学社会開発工学科教授

地下連続壁の後行エレメントは、既設エレメントや地盤の拘束により温度ひび割れが発生する可能性がある。そこで、本論文では、地下連続壁の温度ひび割れの評価方法を提案し、その適用性について検討した。温度応力算定では、2次元FEM応力解析で得られた二面拘束された構造物の拘束度をベースに、①隣接する既設エレメントの温度降下の影響を等価温度係数で評価し、②地盤の拘束による影響を有効温度降下量に置き換えて考慮した。また、地下連続壁の温度ひび割れ状態の程度の評価には温度ひび割れ指数と単位面積当たりのひび割れ長さである“ひび割れ密度”を適用した。そして、温度ひび割れ指数による評価方法が比較的精度よく地下連続壁の温度ひび割れを評価できることを明らかにした。

Key Words : *thermal crack control, diaphragm wall, thermal crack index, equivalent temperature drop, ground restraint, effective temperature drop, thermal crack density*

1. はじめに

地下連続壁は、構造物の大型化、経済性の面から大深度化し、壁厚が大きく、高強度化する傾向にある¹⁾³⁾。地下連続壁を止水壁として利用する場合、水和熱による温度ひび割れ(以下、ひび割れ)を制御し、ひび割れからの漏水を少なくすることが重要となる。また、地下連続壁を高強度化することによって単位セメント量も多くなり、ひび割れ発生の可能性が高くなるので、地下連続壁を本設構造物として利用する場合には、耐久性、止水性の観点からとくにひび割れ制御が重要になる。

ひび割れ制御においては、コンクリート打込み後のセメントの水和熱による温度変化を予測し、次にコンクリートの温度変化に伴って発生する温度応力を推定する。そして、この応力によりどの程度ひび割れが発生するかを予測する。CP (CL) 法に代表されるようにひび割れ発生を簡易的に予測する方法^{4) 5)}は、一面拘束された構造物への適用を考慮して係数などが与えられており、二面拘束された場合や境界条件が複雑となる場合には、FEM 応力解析などによるのが現状である。解析に2次元モデルを用いる場合、地下連続壁のひび割れ予測では、温度解析は地下

連続壁を水平に、応力解析は垂直に切ったモデルを用いる必要があり、解析が複雑になる。また、地下連続壁のひび割れ制御に関する施工上の管理面からひび割れの評価方法も必要となるが、十分なデータがないのが現状である。これらのことから、地下連続壁のひび割れ評価方法の確立が重要な課題の1つと考えられる。

本論文では、地下連続壁の①拘束度の評価方法、②温度応力の簡易計算法、③ひび割れ状態の程度の評価方法について検討した。そして、地下連続壁のひび割れの評価に温度ひび割れ指数と単位面積当たりのひび割れ長さであるひび割れ密度を適用した評価方法を提案した。さらに、その適用性についてひび割れ制御がとくに重要となる高強度地下連続壁のひび割れ測定結果を用いて検討した。

2. 地下連続壁の温度応力発生メカニズム

地下連続壁のひび割れ発生のメカニズムは次のように考えられる。通常、地下連続壁工事では、構造物を複数のエレメントに分割し、図-1に示すように先行エレメントを施工した後、後行エレメントを施工する。後行エレメントのコンクリートは、先行エレ

メントなどの拘束を受け、ひび割れが発生する可能性がある。ここでは、地下連続壁のうち対象とする被拘束体以外のエレメントを拘束体、またはAおよびB'エレメント、被拘束体である後行エレメントを被拘束体またはBエレメントとし、図-1に示す温度変化を想定する。なお、後行エレメントが拘束体である場合には'を付すが、被拘束体より後から施工される場合もある。このような地下連続壁では、図の左右方向は拘束体により拘束され、紙面垂直方向は地盤により拘束されている。この状態で被拘束体が温度降下した場合、拘束体および地盤により拘束されなければ図中の自由変形量だけ(収縮)変形する。しかし、拘束体および地盤により拘束され、拘束変形量に相当する深度方向(z方向)の応力が被拘束体に発生する。拘束体が温度降下すれば、この変形に相当する分だけ拘束がなくなり被拘束体に発生する応力が緩和される。このように地下連続壁の温度降下に伴い、被拘束体には引張応力が発生し、それが引張強度を超えると、水平方向にひび割れが発生する。

ところで、先行エレメントであるAエレメントのひび割れについては次のように考える。Aエレメントの水和熱による温度変化に伴う変形は、地盤のみに拘束され、剛性の小さい通常の地盤では発生する温度応力が小さいと考えられる。さらに、後で施工するBエレメントの温度上昇に伴いAエレメントには引張応力が発生するが、温度降下に伴いそれ以上の圧縮応力が生じる。このため、漏水などの面から問題になるひび割れは少ないのが現状である。このようなことからAエレメントのひび割れはこれまで余り問題にされていなかったので、ここでは検討の対象外とした。

また、地下連続壁は、地盤により保温されているため通常の壁厚では、中心部と表面部の温度差は、比較的小さい⁶⁾。そこで、壁厚方向の温度差による発生応力も比較的小さいと考えられるのでここでは考慮していない。

3. 温度応力算定方法

(1) 温度応力算定方法の概要

地下連続壁のひび割れ検討フローを図-2に示す。ひび割れ検討では、まず検討条件を設定し、熱伝導解析結果から各エレメントの平均温度を算定する。なお、ここではコンクリート温度は、すでに解析または測定結果などから与えられているとして取扱う。次に、温度応力を式(1)で算定する。

$$\sigma_z(t) = \sum B(t) R(t) \Delta T(t) \alpha E(t) \quad (1)$$

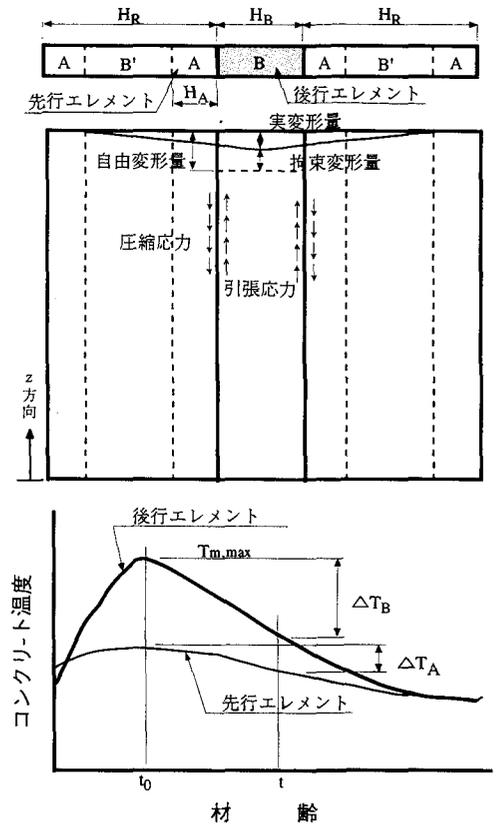


図-1 温度応力発生メカニズム

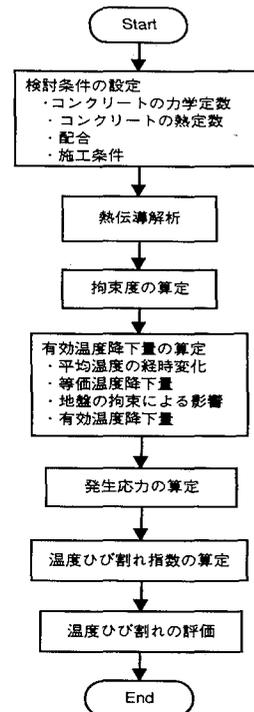


図-2 温度ひび割れ検討フロー

ここに、

$\sigma_z(t)$: 温度降下により被拘束体に発生するZ方向
(深度方向) 応力

B(t): クリープによる応力緩和率

R(t): 拘束度

$\Delta T(t)$: 温度降下量

α : コンクリートの熱膨張率

E(t): コンクリートのヤング係数

本式は、従来から温度応力の算定に用いられている増分法による応力算定式である。応力算定の手順は、ある材齢における温度降下量 ΔT に、コンクリートの熱膨張率 α およびその材齢における被拘束体のヤング係数 E を掛け、完全拘束された場合の発生応力増分 ($\Delta T \alpha E$) を求める。そして、この応力にこの材齢に対応する外部拘束度 R (以下、拘束度) を掛けて実際に発生する応力増分 ($R \Delta T \alpha E$) を算定する。任意時刻における発生応力は、これらの応力増分に対応するクリープによる応力緩和率 B を掛けてそれまでの応力増分を合計して求める。これに対して、著者等は、式中の拘束度および温度降下量を以下のようにし、地下連続壁に発生する応力の算定精度を向上させている。拘束体による拘束度は、拘束体のうち A および B' エレメントの剛性の変化などを考慮した二面拘束状態のものを用いる。また、拘束体の温度降下量の影響および地盤の拘束の影響を考慮した有効温度降下量を用いる。有効温度降下量の算定において、隣接する A エレメントまたは A および B' エレメントの温度降下による発生応力の緩和を等価温度係数で、地盤の拘束の影響を地盤の拘束による影響係数により考慮する。拘束度および等価温度係数は、予め①拘束体は左右対称に存在する、②左右の A および B' エレメントのヤング係数は等しい、③各エレメント間に相対変形を生じないなどの仮定を設けた2次元 FEM 応力解析結果⁷⁾ から、それぞれに影響する要因の回帰式により与える。なお、地盤の拘束の影響を温度降下量に組込んだのは、式 (1) に示すようにこの影響を影響係数で評価しているために拘束度または温度降下量のいずれの項で取扱っても発生応力増分は同じであること、(4) d) で示すように被拘束体および拘束体に及ぼす地盤の拘束による影響が異なり、温度降下の項で取扱った方がより適切であることによる。

(2) 計算条件の設定

a) コンクリートの力学特性

コンクリートの力学特性として圧縮強度、引張強度、ヤング係数を与える。本研究において、コンクリートの圧縮強度、引張強度およびヤング係数は、試

験結果から材齢の関数として与える。

b) クリープ係数

解析に用いるクリープ係数は、コンクリート標準示方書設計編⁸⁾ による。有効材齢 t_{0c} で載荷されたコンクリートの有効材齢 t_c におけるクリープ係数 $\phi(t_c, t_{0c})$ は次式で求める。なお、式 (3) および式 (4) は、文献⁸⁾ に与えられている $\beta_d(t_c - t_{0c})$ および $\beta_f(t_c)$ に関する図を回帰して求めた。 $\beta_f(t_c)$ は $h_m > 160\text{cm}$ に対するもので、この場合には有効材齢のみの関数となる。

$$\phi(t_c, t_{0c}) = \phi_{00} \beta_d(t_c - t_{0c}) + \phi_{10} \{ \beta_f(t_c) - \beta_f(t_{0c}) \} \quad (2)$$

$$t_c, t_{0c} = \alpha (\sum (T_i + 10) \Delta t_i) / 30$$

$$\beta_d(t_c - t_{0c}) = 0.076 e^{0.947x} + 0.224 \quad (3)$$

$$\text{ただし、} x = \log(t_c - t_{0c})$$

$$\beta_f(t_c) = 0.0338x^2 + 0.0673x + 0.130 \quad (4)$$

$$\text{ただし、} x = \log t_c$$

ここに、

ϕ_{00} : 遅れ弾性ひずみに対する基本クリープ係数
(=0.4)

ϕ_{10} : フローひずみに対する基本クリープ係数
(水中で0.8)

$\beta_d(t_c - t_{0c})$: 載荷後有効経過日数 ($t_c - t_{0c}$) に関する関数

$\beta_f(t_c)$: コンクリートの有効材齢および部材の仮想厚さ h_m に関する関数

t_{0c}, t_c : 載荷時およびクリープ係数を算出する時点でのコンクリートの有効材齢 (日)

α : コンクリートの硬化速度に関する係数

Δt_i : 温度が T_i である期間の日数 (日)

(3) 拘束体による拘束度の算定

拘束体による拘束は、式 (5) で定義した拘束度 R で算定する⁹⁾。式 (5) の分子 σ_{BB} は、2次元 FEM 応力解析を用いて得られたある状態において被拘束体が ΔT だけ温度降下した場合に被拘束体に発生する応力増分で、図-3 の $z=0$ での被拘束体の応力の平均値である。分母は、被拘束体が ΔT だけ温度降下した場合の変形が完全拘束された場合に発生する応力である。応力解析に用いたのは 1/4 モデルで、その 1 例を図-3 に示す⁷⁾。なお、拘束度は、地盤の拘束の影響を考慮していない。

$$R = \sigma_{BB} / (\Delta T \alpha E_B) \quad (5)$$

拘束度は、被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R 、被拘束体と拘束体のヤング係数比 E_B/E_A 、 E_B/E_B で、被拘束体が ΔT だけ温度降下した場合に、完全拘束された状態での応力 ($\Delta T \alpha E_B$) および変形できる状態での応力 σ_{BB} を求め、式 (5) を用いて算定する。このように

して求めた拘束度を各要因の関数として式 (6) で与える。なお、取上げた要因は、事前に拘束度との関係について検討し、影響の認められたものを選定した。

$$R = f(H_B/H_A, L/H_B, H_B/H_R, E_B/E_A, E_B/E_B) \quad (6)$$

ここに、

H_B/H_A : B エlement と A エlement の幅比

L/H_B : Element の長さ と B Element の幅比

H_B/H_R : 被拘束体 と 拘束体の幅比

E_B/E_A : 被拘束体 と 隣接 A Element のヤング係数比

E_B/E_B : 被拘束体 と 隣接 B' Element のヤング係数比

2次元 FEM 解析の結果、得られた要因と拘束度との関係の一例を表-1 に示す。拘束度に関して重回帰分析した結果は式 (7) および式 (8) で、この回帰式の F 値は 158 および 613 になり、回帰は 1% の危険率で有意となった。式 (7)、(8) の適用範囲は、 $H_B/H_A=2 \sim 3$ 、 $L/H_B=5 \sim 10$ 、 $H_B/H_R=0.23 \sim 3.0$ 、 $E_B/E_A=0.5 \sim 1.0$ 、 $E_B/E_B=0.5 \sim 4.0$ で、壁厚が 0.8 から 1.4m 程度である。

$E_B/E_B=0.5 \sim 1.0$ の場合

$$R = (E_B/E_A)\{-0.232+0.0176(L/H_B)-0.0807(H_B/H_R)\} + (E_B/E_B)\{-0.397+0.0125(L/H_B)+0.126(E_B/E_B)\} + 1.035 \quad (7)$$

$E_B/E_B > 1.0$ の場合

$$R = (H_B/H_R)\{-0.0482-0.1217(E_B/E_A)+0.0089(E_B/E_B)\} + (E_B/E_B)\{-0.0844-0.0257(E_B/E_A)+0.0115(E_B/E_B)\} + 0.954 \quad (8)$$

(4) 有効温度降下量の算定

a) 平均温度の算定方法

地下連続壁でひび割れが問題となる B Element では、通常 Element の幅に対して壁厚は小さく、温度分布から熱の流れが厚さ方向のみの 2 面放熱モデルと考えられる。また、Element 端部では温度に乱れはあるがその影響は小さいとして、幅方向の中心位置での温度を用いて各 Element の平均温度 $T_m(t)$ を式 (9) で与える⁹⁾。

$$T_m(t) = \{2T_{max}(t) + T_s(t)\} / 3 \quad (9)$$

ここに、

$T_m(t)$: 材齢 t における平均温度 (°C)

$T_{max}(t)$: 材齢 t における部材内最高温度 (°C)

$T_s(t)$: 材齢 t における表面温度 (°C)

b) 等価温度係数

拘束体の温度降下に伴い被拘束体に発生する応力

表-1 回帰に用いたデータ

ケース No.	H_B/H_A	L/H_B	H_B/H_R	E_B/E_A	E_B/E_B	R	γ_{BA}	$\gamma_{BB'}$
1	3.0	10	0.6	0.50	0.50	0.875	0.10	0.30
2	3.0	10	0.6	0.50	0.75	0.843	0.13	0.25
2	3.0	10	0.6	0.50	1.00	0.820	0.15	0.21
4	3.0	10	0.6	0.75	0.75	0.817	0.10	0.30
5	3.0	10	0.6	0.75	1.00	0.788	0.12	0.26
6	3.0	10	0.6	1.00	1.00	0.767	0.10	0.30
7	3.0	10	0.6	0.80	0.80	0.807	0.10	0.30
8	3.0	10	0.6	0.60	0.60	0.851	0.10	0.30
9	3.0	10	0.6	0.67	0.67	0.836	0.10	0.30
10	3.0	10	0.6	0.86	0.86	0.795	0.10	0.30
11	3.0	10	0.3	1.00	1.00	0.810	0.08	0.20
12	3.0	10	0.3	0.50	1.00	0.850	0.12	0.15
13	3.0	10	0.3	0.50	0.50	0.900	0.08	0.20
14	3.0	10	0.3	0.50	0.75	0.870	0.12	0.17
15	3.0	10	0.23	1.00	1.00	0.810	0.08	0.20
16	3.0	10	0.23	0.50	1.00	0.850	0.12	0.15
17	3.0	10	0.23	0.50	0.50	0.900	0.08	0.20
18	3.0	10	0.23	0.50	0.75	0.870	0.10	0.17
19	3.0	10	3.0	0.50	-	0.574	0.50	-
20	3.0	10	3.0	0.75	-	0.473	0.50	-

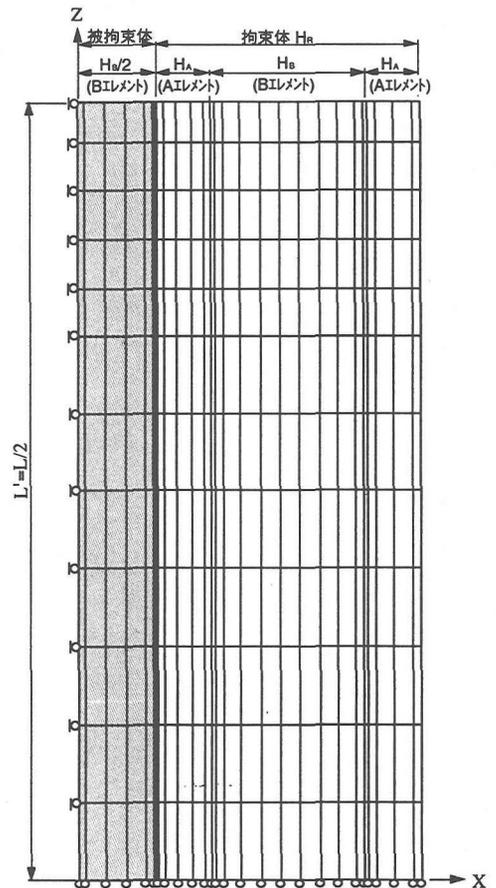


図-3 応力解析モデルの1例

緩和の影響を被拘束体の温度降下量に換算して評価する¹⁰⁾。この換算した温度降下量を等価温度係数といい、式(10)および式(11)で定義する。 σ_{BB} と σ_{BA} 、 $\sigma_{BB'}$ の符号が逆になることから、 γ_{BA} および $\gamma_{BB'}$ を正值とするために右辺に負号をつける。 γ_{BA} は、Aエレメントおよび被拘束体が ΔT だけ温度降下した場合に被拘束体に発生する応力 σ_{BA} および σ_{BB} の比である。同様に $\gamma_{BB'}$ は、B'エレメントおよび被拘束体が ΔT だけ温度降下した場合に被拘束体に発生する応力 $\sigma_{BB'}$ および σ_{BB} の比である。

$$\gamma_{BA} = -\sigma_{BA} / \sigma_{BB} \quad (10)$$

$$\gamma_{BB'} = -\sigma_{BB'} / \sigma_{BB} \quad (11)$$

ここに、

γ_{BA} : 拘束体Aエレメントの単位温度降下に等価な被拘束体の等価温度係数

$\gamma_{BB'}$: 拘束体B'エレメントの単位温度降下に等価な被拘束体の等価温度係数

σ_{BB} : 被拘束体が ΔT 温度降下した場合に被拘束体に発生する応力

σ_{BA} 、 $\sigma_{BB'}$: 拘束体AおよびB'エレメントが ΔT 温度降下した場合に被拘束体に発生する応力

拘束度と同様に、等価温度係数は、被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R 、被拘束体と拘束体のヤング係数比 E_B/E_A 、 $E_B/E_{B'}$ で、拘束体AまたはB'エレメントが ΔT 温度降下した場合に被拘束体に発生する応力 σ_{BA} 、 $\sigma_{BB'}$ および被拘束体が ΔT 温度降下した場合に被拘束体に発生する応力 σ_{BB} を求め、式(10)、式(11)を用いて算定する。等価温度係数は、それぞれのエレメントが単位温度降下した場合の2次元FEM応力解析結果から被拘束体の深度方向中心部の平均応力を用いて算定した。このようにして得られた要因と等価温度係数との関係の一例を表-1に示す。なお、考慮した拘束体は、影響の大きい隣接AおよびB'エレメントである。等価温度係数を各要因の関数として重回帰分析した結果は、 γ_{BA} が式(12)および式(14)、 $\gamma_{BB'}$ が式(13)および式(15)で、この回帰式のF値は274、1878および116、145となり、回帰は1%の危険率で有意となった。なお、 $E_B/E_{B'} > 1.0$ は、拘束体のB'エレメントが被拘束体より後から施工される場合である。

$E_B/E_{B'} = 0.5 \sim 1.0$ の場合

$$\begin{aligned} \gamma_{BA} = & (E_B/E_{B'})\{0.295 - 0.0088(L/H_B) + 0.0983(E_B/E_A) \\ & - 0.108(E_B/E_{B'})\} + (E_B/E_A)\{-0.288 - 0.0392(H_B/H_R) \\ & + 0.0112(L/H_B)\} + (L/H_B)\{0.0085(H_B/H_R) - 0.0218\} \\ & - 0.0285(H_B/H_A) + 0.352 \quad (12) \end{aligned}$$

$$\gamma_{BB'} = (H_B/H_R)\{0.0526(L/H_B) + 0.158(E_B/E_A)\}$$

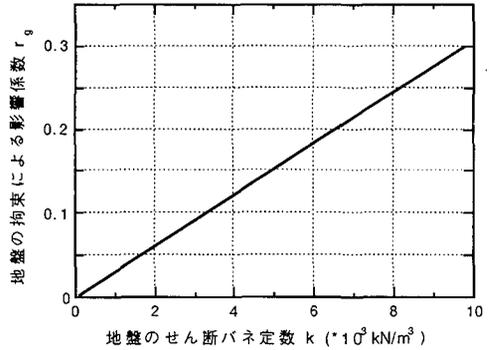


図-4 セン断バネ定数と地盤による影響係数との関係

$$\begin{aligned} & -0.148(E_B/E_{B'}) - 0.313(H_B/H_R)\} + 0.0471(H_B/H_A) \\ & - 0.0315(L/H_B) + 0.0776(E_B/E_A) - 0.0835(E_B/E_{B'}) \\ & + 0.266 \quad (13) \end{aligned}$$

$E_B/E_{B'} > 1.0$ の場合

$$\begin{aligned} \gamma_{BA} = & (E_B/E_{B'})\{0.0704 - 0.0067(E_B/E_{B'})\} + (H_B/H_R)\{0.107 \\ & - 0.0435(E_B/E_A)\} - 0.0569(E_B/E_A) + 0.054 \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{BB'} = & (H_B/H_R)\{0.140 + 0.236(E_B/E_A) - 0.0582(E_B/E_{B'})\} \\ & - 0.0185(E_B/E_{B'}) + 0.114 \quad (15) \end{aligned}$$

c) 地盤の拘束

被拘束体および拘束体の温度降下に伴う変形が地盤に拘束される場合、ともに変形量が小さくなり、被拘束体に発生する応力は、地盤の拘束のない場合に比べて大きくなるように作用する。地盤の拘束により被拘束体に発生する応力は、被拘束体および拘束体の温度降下量に依存する。しかし、被拘束体と拘束体で、また同じ拘束体でもAエレメントとB'エレメントでは温度降下量が異なるため、地盤による拘束の影響を被拘束体と拘束体を同一の拘束度として取扱うには拘束体の温度降下量も拘束度の要因とする必要があり、拘束度の算定式の作成が非常に複雑になる。そこで、式(16)で定義する地盤の拘束による影響係数 r_g を導入し、通常の基礎構造物の設計で用いられているように地盤の拘束を地盤のせん断バネで考慮する¹¹⁾。そして、地盤の拘束の影響を次節の式(17)および式(18)に示すように被拘束体および拘束体の温度降下量にリンクして個別に考慮できるようにする。

$$r_g = (\sigma_{zs} - \sigma_z) / \sigma_z \quad (16)$$

ここに、

σ_z : バネがない場合の被拘束体の圧縮応力が最大となった材齢以降の発生応力

σ_{zs} : バネがある場合の被拘束体の圧縮応力が最大となった材齢以降の発生応力

地盤のせん断バネ定数は、施工実績の多い通常の地盤（沖積層）では大きくとも $9.8 \times 10^3 \text{ kN/m}^3$ (1000 tf/m^3) 程度であるので $9.8 \times 10^3 \text{ kN/m}^3$ とし、拘束体が A エLEMENT のみで、地盤の拘束の影響が大きい $H_B/H_R=3$ の場合について、その影響を調べるために 2 次元 FEM 応力解析を地盤のせん断バネがある場合とない場合について行った。なお、コンクリートおよび地盤を弾性体として取扱っていることからここではせん断バネ定数と地盤の拘束による影響係数との間を直線と仮定する。材齢 60 日の解析結果は、地盤の拘束による影響係数が 0.3 で、材齢による被拘束体の剛性の変化を無視すれば地盤の拘束による影響係数と地盤のせん断バネ定数との関係は、図-4 となり、ここではこの関係を用いる。

d) 有効温度降下量

拘束体の温度降下による被拘束体の応力緩和の影響を等価温度係数で、地盤の拘束による発生応力の影響を地盤の拘束による影響係数で考慮した温度降下量を式 (17) および式 (18) で定義する有効温度降下量で与える。 $\Delta T_B(t_i) > \Delta T_A(t_i)$ または $\Delta T_B(t_i)$ の場合、最少温度降下量を $\Delta T_{\min}(t)$ とすれば、被拘束体および拘束体は $\Delta T_{\min}(t)$ だけ一様に温度降下することになる。しかし、これが地盤の拘束を受けるためにそれぞれ $r_g \Delta T_{\min}(t)$ だけ $\Delta T_{\min}(t)$ から差し引き、 $(1-r_g) \Delta T_{\min}(t)$ だけ一様に温度降下するとする。また、有効温度降下量が一度正になり、その後 $\Delta T_c(t_i) < 0$ となった場合は、 $T_c(t_i)=0$ とする。

$\Delta T_B(t_i) > \Delta T_A(t_i)$ または $\Delta T_B(t_i)$ の場合

$$\Delta T_c(t_i) = (1+r_g) \{ \Delta T_B(t_i) - (1-r_g) \Delta T_{\min}(t) \} - (1-r_g) \{ \gamma_{BA}(t_i) (\Delta T_A(t_i) - \Delta T_{\min}(t)) + \gamma_{BB}(t_i) (\Delta T_B(t_i) - \Delta T_{\min}(t)) \} \quad (17)$$

$\Delta T_B(t_i) < \Delta T_A(t_i)$ 、 $\Delta T_B(t_i)$ の場合

$$\Delta T_c(t_i) = (1+r_g) \Delta T_{\min}(t) \{ \gamma_{BA}(t_i) + \gamma_{BB}(t_i) \} - (1-r_g) \{ \gamma_{BA}(t_i) \Delta T_A(t_i) + \gamma_{BB}(t_i) \Delta T_B(t_i) \} \quad (18)$$

$\Delta T_B(t_i)$: 材齢 t_{i-1} から t_i 間での被拘束体の温度降下量 (°C)

$\Delta T_A(t_i)$: 材齢 t_{i-1} から t_i 間での拘束体(A エLEMENT) の温度降下量 (°C)

$\Delta T_B(t_i)$: 材齢 t_{i-1} から t_i 間での拘束体(B' エLEMENT) の温度降下量 (°C)

$\Delta T_{\min}(t)$: 材齢 t_{i-1} から t_i 間で被拘束体および拘束体 (A, B' エLEMENT) のうち最小温度降下量 (°C)

(5) 発生応力の算定方法

被拘束体に発生する温度応力 $\sigma_{tc}(t)$ を式 (19) で与える。さらに拘束体の温度降下および地盤の拘束の影響は、(4) で述べたように被拘束体の有効温度降下量 $\Delta T_c(t_i)$ に組み込んだ。ここで、温度降下を考慮した拘束体は、その影響の大きい隣接する A および B' エLEMENT である。なお、温度応力は、圧縮応力が最大となった時点をもととする。すなわち、 $\Delta T_c(t_i) > 0$ の場合に発生する応力である。

$$\sigma_{tc}(t) = \sum B(t, t_{i-1}) R(t_i) \alpha_c E_c(t_i) \Delta T_c(t_i) \quad (19)$$

ここに、

$\sigma_{tc}(t)$: 材齢 t で発生する温度応力 (N/mm²)

$R(t_i)$: 材齢 t_i における拘束度 $t_i = (t_{i-1} + t_i) / 2$

α_c : コンクリートの熱膨張係数 ($= 10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)

$\Delta T_c(t_i)$: 材齢 t_{i-1} から t_i の間に生ずる被拘束体の有効温度降下量 (°C)

$E_c(t_i)$: 材齢 t_i におけるコンクリートのヤング係数 (N/mm²)

$B(t, t_i)$: 材齢 t_i (有効材齢 t_{ic}) に載荷されたコンクリートの材齢 t (有効材齢 t_c) でのクリープによる応力緩和率

$$B(t, t_i) = 1 / \{ 1 + \phi(t_c, t_{ic}) \}$$

(6) ひび割れの評価方法

地下連続壁のひび割れの評価方法が現在ほとんど提案されていないことから、ここでは温度ひび割れ指数を用いて、ひび割れが発生するかどうかではなく、ひび割れの程度 (以下、ひび割れ密度) について検討する。なお、ひび割れ密度は、地下連続壁深さ方向 10m 当たりのひび割れ長さとする。地下連続壁では、気中の構造物と異なり表面に泥膜が附着しており、ひび割れの測定が難しいこと、地下連続壁では漏水が問題となることが多いことなどから測定が容易な漏水長さをひび割れ長さとする。また、本評価方法は、ひび割れが発生した場合に鉄筋が降伏しないように縦方向に約 0.2 ~ 0.6% 配筋された地下連続壁を対象にする。温度ひび割れ指数 I_{cr} は次式で与える。

$$I_{cr} = f_t(t) / \sigma_{tc}(t) \quad (20)$$

ここに、

$f_t(t)$: 材齢 t でのコンクリートの引張強度

4. 地下連続壁の温度ひび割れ評価方法の適用性の検討

(1) 検討方針および条件

本評価方法の適用性の検討は、A 地下タンクの温度ひび割れ長さの測定結果 (漏水長さで、掘削段階毎に測

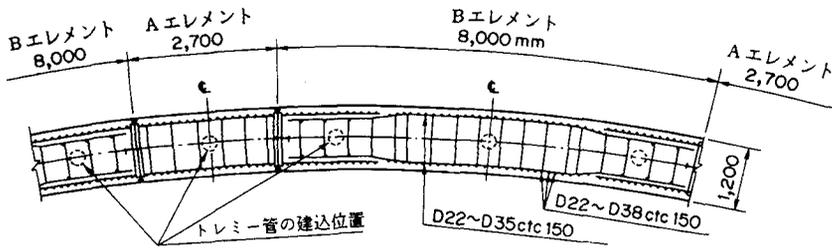


図-5 地下連続壁の構造

表-2 コンクリートの配合

最大寸法 (mm)	スラップ (%)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (cw%)	
					W	C	S	G	Ad1	Ad2
25	24以上	4.5±1.0	28.4	38.8	128	450	684	1098	1.5	1.0

注) Ad1; 高性能減水剤, Ad2; 流動化剤

定)と温度ひび割れ指数の計算結果を用いて行う。検討において、まず対象となるエレメントの平均温度を求め、これから発生応力を算定する。また、掘削に伴う外力(土・水圧など)による発生応力は、各掘削段階での鉄筋応力の計測結果からひび割れがないとして断面力を求め、全断面有効として算定した応力の最大値を用いた。以下に検討条件を示す。

a) コンクリートの配合¹²⁾

A 地下タンクで用いたコンクリートは、設計基準強度が 50.0 N/mm² (510kgf/cm²) の高強度高流動コンクリートであり、ひび割れ低減の面からセメントにはフライアッシュ混入低発熱形高炉セメントB種、また高密度配筋への充てん性の確保からスラップロス低減形流動化剤を用いた。その配合を表-2に示す。

b) コンクリートの力学特性

強度試験結果から圧縮強度、引張強度、ヤング係数を求め、これを回帰した結果を表-3に示す。クリープ係数は、式(2)で求める。

c) 施工条件

A 地下タンク地下連続壁の構造は、図-5¹²⁾のとおりで長さは100mである。鉄筋は、縦筋がD22~D38、横筋がD22~D35、配筋ピッチは150mmである。この場合の縦筋の鉄筋比は、約0.2~0.6%である。各被拘束体の拘束状況を表-4に示す。拘束体が、Aエレメントのみの場合の拘束体幅は2.7mで、隣接B'エレメントは後打ちとなり、拘束体が(A+B'+A)および(A+B'+A+B'+A)エレメントの場合は、拘束体幅は、それぞれ13.4m, 24.1mである。拘束体が24.1m以上ではH_B/H_Rが0.23以下となり、前述のように拘束度は同じとなる。また、左右の拘束体長さが異なるのは、各エレメントの施工順序の違いによる。なお、表中に

表-3 コンクリートの力学特性

項目	特性
圧縮強度	$t/(0.1295+0.01295t)$ (n=120)
引張強度	$0.237fc^{0.715}$ (n=109)
ヤング係数	$7.215fc^{0.399} \cdot 10^3$ (n=48)

注) () 内はデータ数, 単位; N/mm²

表-4 各エレメントの施工状況

エレメント No.	拘束体幅(m)		ひび割れ 長さ(m)	エレメント No.	拘束体幅(m)		ひび割れ 長さ(m)
	左	右			左	右	
B1	2.7	13.4	8.5	B11	13.4	13.4	12.6
B2	2.7	2.7	11.4	B12	2.7	2.7	15.4
B3	13.4	45.5	9.5	B13	45.5	45.5	4.3
B4	2.7	34.8	14.8	B14	2.7	13.4	3.6
B5	2.7	24.1	17.8	B15	2.7	2.7	8.8
B6	2.7	13.4	17.5	B16	24.1	13.4	28.4
B7	2.7	2.7	4.1	B17	2.7	2.7	8.6
B8	45.5	45.5	38.3	B18	45.5	13.4	12.6
B9	2.7	13.4	25.7	B19	2.7	2.7	13.5
B10	2.7	2.7	23.3	B20	13.4	24.1	21.3

注) 拘束体幅 2.7m; A, 13.4m; (A+B'+A), 24.1m; (A+B'+A+B'+A) 34.8m; (A+B'+A+B'+A+B'+A), 45.1m; (A+B'+A+B'+A+B'+A+B'+A)

後行エレメント(被拘束体)に発生したひび割れ全長を併記する。漏水量に影響する地下水位は、GL-2.0mである。

(2) コンクリート温度の経時変化

被拘束体および拘束体の平均温度の経時変化は、各位置の温度の経時変化から式(9)により算定する。なお、コンクリート温度の実測値のあるものについては実測値を用い、実測値がない場合には無次元化平均温度による方法¹³⁾で求める。Aエレメントのみで、拘束体幅が2.7m、B'エレメントが後打ちとなる場合、および拘束体が(A+B'+A+B'+A+B'+A+B'+A)エレメン

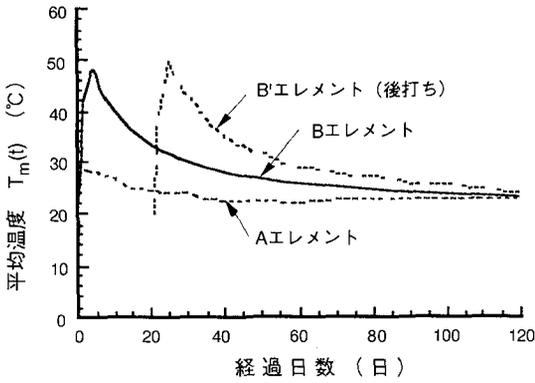


図-6 平均温度の経時変化の例 (B2)

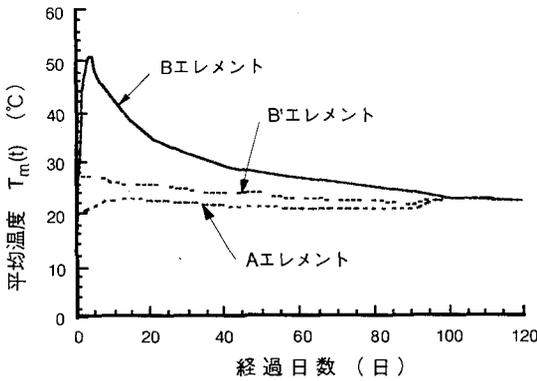


図-7 平均温度の経時変化の例 (B3)

トで幅が45.5mの場合の平均温度の経時変化の例を図-6および図-7に示す。B Element打込み時のAおよびB' Elementの材齢は、図-6では13日および21日(後打ち)、図-7では63日および33日である。掘削に伴い地下連続壁面が露出した場合には、全Elementともに測定値を参考に温度を決定する。

(3) 拘束度および有効温度降下量の算定

3. (4) の方法で図-6および図-7の平均温度の経時変化に対応するRおよび ΔT_c を計算した結果を表-5および表-6に示す。なお、当該地盤のせん断バネ定数の平均値は約 $2.94 \times 10^3 \text{ kN/m}^3$ (300tf/m³)で、これに対応する地盤の影響係数0.1を用い、表中にはRおよび ΔT_c の計算に用いた γ_{BA} などの数値を示す。B2 Elementの場合、打込み当初、拘束体はA Elementのみで、21日後に後打ちのB' Elementが施工される。このため、有効温度降下量は、B' Elementの温度上昇に伴い大きくなり、温度降下に伴い小さくなっている。拘束度は、B' Element後打ち

表-5 拘束度および有効温度降下量の計算例(B2)

材齢(日)	$\Delta T_c(^{\circ}\text{C})$	R	γ_{BA}	$\gamma_{BB'}$	E_B/E_A	$E_B/E_{B'}$
4	0.3	0.491	0.500	0.000	0.718	0.000
5	2.1	0.481	0.500	0.000	0.751	0.000
6	1.2	0.470	0.500	0.000	0.786	0.000
7	1.5	0.462	0.500	0.000	0.813	0.000
10	2.7	0.450	0.500	0.000	0.854	0.000
14	1.7	0.438	0.500	0.000	0.898	0.000
21	3.9	0.427	0.500	0.000	0.935	0.000
23	4.9	0.627	0.322	0.213	0.952	2.242
25	2.1	0.692	0.293	0.248	0.957	1.603
28	0.0	0.718	0.278	0.262	0.963	1.345
35	0.0	0.735	0.267	0.273	0.971	1.170
42	0.0	0.743	0.262	0.278	0.979	1.092
56	0.3	0.747	0.258	0.281	0.986	1.049
70	1.3	0.748	0.256	0.283	0.991	1.027
91	1.1	0.749	0.255	0.284	0.994	1.015
128	0.1	0.750	0.254	0.285	0.996	1.008
155	0.1	0.750	0.253	0.285	0.998	1.005
196	0.2	0.750	0.253	0.286	0.999	1.003

表-6 拘束度および有効温度降下量の計算例(B3)

材齢(日)	$\Delta T_c(^{\circ}\text{C})$	R	γ_{BA}	$\gamma_{BB'}$	E_B/E_A	$E_B/E_{B'}$
4	0.4	0.859	0.080	0.226	0.630	0.656
5	2.5	0.853	0.080	0.226	0.633	0.689
6	1.7	0.846	0.080	0.226	0.698	0.725
7	2.0	0.841	0.080	0.226	0.728	0.755
10	4.2	0.834	0.079	0.226	0.773	0.799
14	3.8	0.827	0.079	0.226	0.825	0.851
21	4.3	0.820	0.078	0.226	0.875	0.897
28	2.1	0.816	0.078	0.227	0.911	0.930
35	1.6	0.813	0.077	0.227	0.933	0.949
42	1.2	0.812	0.077	0.227	0.947	0.961
56	1.5	0.810	0.077	0.227	0.961	0.972
70	0.8	0.809	0.076	0.228	0.972	0.981
91	1.6	0.808	0.076	0.228	0.980	0.987
100	3.4	0.808	0.076	0.228	0.985	0.990
128	0.1	0.807	0.076	0.228	0.988	0.993
170	0.1	0.807	0.076	0.229	0.993	0.995

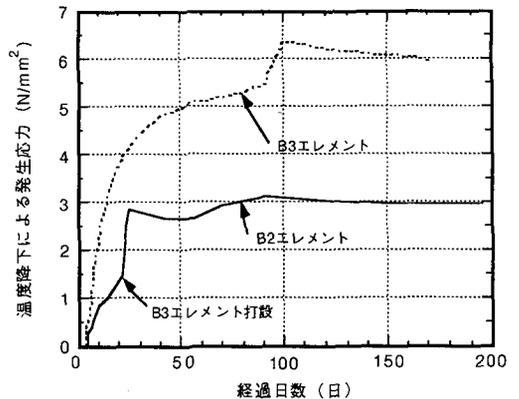


図-8 温度降下による発生応力

表-7 発生応力および温度ひび割れ指数の計算例

EL.No.	GL-27.5m			GL-37.5m			GL-44.4m		
	材齢	σ_{te}	lcr	材齢	σ_{te}	lcr	材齢	σ_{te}	lcr
B1	107	6.03	0.83	134	6.35	0.79	175	6.51	0.78
B2 ¹⁾	128	3.77	1.34	155	4.18	1.21	196	4.43	1.15
B3 ³⁾	100	7.09	0.70	128	7.34	0.69	170	7.44	0.68
B4 ³⁾	133	4.69	1.08	162	5.06	1.00	202	5.29	0.97
B5 ³⁾	147	5.34	0.95	176	5.69	0.89	216	5.89	0.87
B6	167	4.66	1.09	194	5.05	1.01	236	5.30	0.97
B7 ¹⁾	193	3.55	1.44	222	3.98	1.29	262	4.27	1.21
B8 ³⁾	113	7.06	0.71	141	7.33	0.69	181	7.46	0.68
B9	143	4.92	1.03	171	5.31	0.96	211	5.53	0.93
B10 ²⁾	178	(3.54)	(1.65)	206	(3.52)	(1.45)	246	(3.79)	(1.36)
B11	137	5.44	0.93	164	6.06	0.84	205	6.44	0.79
B12 ¹⁾	156	3.56	1.42	183	4.20	1.21	224	4.89	1.05
B13 ³⁾	101	6.85	0.73	128	7.10	0.71	169	7.23	0.70
B14	146	5.61	0.90	173	5.97	0.85	214	6.17	0.83
B15 ¹⁾	193	3.81	1.34	220	4.23	1.21	261	4.50	1.14
B16 ³⁾	123	6.45	0.78	150	6.78	0.75	191	6.93	0.74
B17 ¹⁾	150	3.55	1.43	178	3.96	1.29	214	4.24	1.21
B18 ³⁾	99	7.46	0.66	127	7.69	0.65	163	7.81	0.65
B19 ²⁾	132	(3.95)	(1.28)	159	(4.33)	(1.17)	195	(4.57)	(1.12)
B20 ³⁾	105	6.74	0.74	132	7.02	0.72	168	7.19	0.71

注) 1) ;隣接Bエレメント後打ちを考慮($H_b/H_R=3.0$)
 2) ;隣接Bエレメントが後打ちであるがAエレメントのみとして応力計算
 3) ; $H_b/H_R=0.23$ のエレメント

までは約0.5から0.4と小さいが、B'エレメント打込み後は、このエレメントの影響で材齢の経過とともに約0.6から約0.7と大きくなっている。これに対して、B3エレメントでは1日当たりの有効温度降下量は、材齢5日で最大値を示し、その後減少し、拘束度は、0.86~0.81と単調に減少している。ただし、両エレメントともに掘削に伴う温度変化のために、一時的に有効温度降下量は増加している。このように、施工の順序によって有効温度降下量および拘束度は影響を受けていることが分かる。

(4) 発生応力および温度ひび割れ指数の算定

地下連続壁の温度降下による発生応力を式(19)で算定し、得られた計算結果の例を図-8に示す。なお、温度応力の算定に当たっては対象となる被拘束体の左右の拘束状況は、施工順序等により表-4に示すように異なる。そこで、ここでは左または右の拘束状態が対称に存在するとして温度応力を算定し、大きい方の温度応力を用いる。これは、事前に行った応力解析の結果、左右の拘束体幅が異なる場合には発生応力がそれぞれの側の拘束体幅に対応した値であることによる。

図-8に示す発生応力は、拘束度の大きいB3エレメントがB2エレメントに比べて約2倍と大きい。B2エレメントは、隣接のB'エレメントの後打ちを考慮

表-8 各掘削深度における温度ひび割れ指数と温度ひび割れ密度との関係

EL.No.	GL-27.5m		GL-37.5m		GL-44.4m		備考
	lcr	ℓ'_1	lcr	ℓ'_2	lcr	ℓ'_3	
B1	0.83	0.5	0.79	1.8	0.78	1.9	
B2*	1.34	1.4	1.21	2.4	1.15	2.6	
B3	0.70	2.5	0.69	2.2	0.68	2.2	**
B4	1.08	2.8	1.00	3.6	0.97	3.4	
B5	0.95	3.5	0.89	3.3	0.87	4.0	
B6	1.09	4.5	1.01	4.7	0.97	4.0	
B7*	1.44	0.7	1.29	1.1	1.21	0.9	
B8	0.71	13.9	0.69	10.2	0.68	8.7	
B9	1.03	8.2	0.96	6.2	0.93	5.6	
B10*	(1.65)	7.8	(1.45)	5.7	(1.36)	5.3	
B11	0.93	2.7	0.84	2.0	0.79	2.9	**
B12*	1.42	3.0	1.21	2.9	1.05	3.5	
B13	0.73	1.1	0.71	1.1	0.70	1.0	**
B14	0.90	0.0	0.85	0.0	0.83	0.8	**
B15*	1.34	2.1	1.21	2.3	1.14	2.0	
B16	0.78	8.5	0.75	6.6	0.74	6.5	
B17*	1.43	0.5	1.29	1.0	1.21	2.0	
B18	0.66	3.0	0.65	2.4	0.65	2.9	**
B19*	(1.28)	1.0	(1.17)	0.7	(1.12)	3.1	
B20	0.74	5.8	0.72	5.3	0.71	4.8	

注) 1) ℓ'_1 ; GL0~27.5mにおける深度10m当たりのひび割れ密度 ($m/80m^2$)
 ℓ'_2 ; GL0~37.5mにおける深度10m当たりのひび割れ密度 ($m/80m^2$)
 ℓ'_3 ; GL0~44.0mにおける深度10m当たりのひび割れ密度 ($m/80m^2$)
 2) * ; $H_b/H_R=3.0$ で施工したエレメント
 3) ** ; ひび割れ長さ測定後に発生したひび割れが多いエレメント

しているために応力緩和が大きくなっている。なお、これらの応力算定結果は、ひび割れが発生していないとして求めたもので、ひび割れ発生に伴う剛性低下による応力緩和は考慮していない。このため、ひび割れが発生している場合には、発生応力を過大に評価することになる。

地下連続壁の場合、ひび割れは内部を掘削して初めて観察できる。ひび割れ観察時には、地下連続壁には温度応力に加えて掘削に伴う土圧・水圧による応力が作用しており、これらの合応力によりひび割れが発生すると考えるのが妥当である。よって、ここでも先に求めた温度応力に掘削深度に対応した土圧・水圧による応力を加算する。この応力は、発生している断面力を用い、全断面有効として算定した地下連続壁表面の応力である。各掘削深度における鉛直方向の最大発生応力は、GL-27.5mで0.75N/mm²、GL-37.5mで1.20N/mm²、GL-44.4mで1.49N/mm²である。ここでは、地下連続壁上端から27.5m、37.5m、44.4mまで掘削した場合の発生応力(土・水圧による応力)にその時点での温度応力を加えて温度ひび割れ指数を算定し、その結果を表-7に示す。なお、B10、B19エレメントは、後打ちとなる隣接B'エレメントの影響を考慮していない。

表-7に示す隣接B'エレメントが後打ちである $H_b/H_R=3.0$ のエレメントでは、他のエレメントに比較して発生応力が小さい傾向にあり、温度ひび割れ指数が1.05以上である。また、 $H_b/H_R \leq 0.23$ のエレメント

では、温度ひび割れ指数は、B4を除いて0.95以下で、これらを比較することで拘束の影響がよく分かる。

(5) ひび割れ評価方法の適用性の検討

各エレメント毎の温度ひび割れ指数とひび割れ密度との関係を表-8および図-9に示す。表-8の備考欄に示すように、各掘削段階毎に測定した漏水箇所をの長さをひび割れ長さとしたため、最終掘削時の漏水状況の目視結果と大きな差のあるエレメントがある。そこで、これらのエレメントおよび前述のB10, B19エレメントを精度の点から除外して分析する。

ひび割れ密度と温度ひび割れ指数との関係を深度毎にみる。掘削に伴い①温度ひび割れ指数は、土・水圧による応力の影響を受け、指数が大きいかほど掘削に伴う低下量は大きく、②ひび割れ密度は、3.0(m/80m)を境にこれより大きいものほどひび割れ発生に伴う応力緩和の影響を受け減少し、小さいものは幾分増加している。例えば、GL-27.5mで約0.8、1.35の温度ひび割れ指数は、GL-44.4mではそれぞれ約0.05、0.2小さくなっている。

GL-27.5mでの温度ひび割れ指数およびひび割れ密度とGL-27.5mからGL-44.4m間でのそれぞれの増分についてみると、これらの間には強い相関関係(相関係数 $r=0.92, 0.97$)がある。掘削深度が大きくなれば、温度ひび割れ指数およびひび割れ長さが大きいほどそれぞれの減少率は大きくなる。この結果、掘削深度が大きくなるに伴って図-9に示すようにひび割れ密度と温度ひび割れ指数のばらつきが小さくなる傾向にある。このため地下連続壁のひび割れ検討にはなるべく掘削の最終段階のデータを用いるのがよいと考える。

A地下タンクのGL-44.4mでのひび割れ密度と温度ひび割れ指数との関係の回帰結果を式(21)に示す。相関係数 r は、0.75 ($n=13$)である。

$$\ell' = -8.56 i_{cr} + 12.0 \quad (21)$$

ここに、

ℓ' : GL0から各掘削深度までの深さ10m当りの平均ひび割れ密度 (m/80m²)

ひび割れ密度と温度ひび割れ指数の回帰直線を図-9に示す。また、地下連続壁面の観察結果は、ひび割れ密度が約1.0 (m/80m², 単位面積当たりに換算するには0.0125を掛ける) 以下では、ほぼ地下連続壁壁面は乾燥状態にある。すなわち、漏水量が少なく、表面から乾燥する水量が大きいため表面が乾燥状態になる。この状態は、実用上ほぼ温度ひび割れが防止できた状態と考えられる。

これらの検討結果を総合すれば、ひび割れ密度と

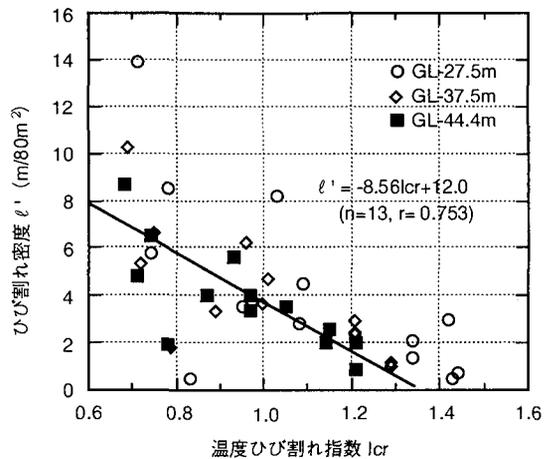


図-9 温度ひび割れ密度と温度ひび割れ指数との関係

温度ひび割れ指数との間にはある程度の相関があり、また、通常の構造物でひび割れを防止したい場合の値である温度ひび割れ指数が1.5以上¹⁴⁾では、ひび割れ密度は小さく、漏水を伴うような有害なひび割れを施工時に防止したい場合に相当するといえる。

以上、著者らの提案した地下連続壁のひび割れ評価方法の適用性について、提案した方法を用いて算定した温度ひび割れ指数と地下連続壁面に発生しているひび割れ密度の実測値とを比較した結果、ひび割れを分散し得る鉄筋(本研究では約0.2~0.6%)が配置されている場合には、ひび割れ密度と温度ひび割れ指数とは比較的よい相関を示すことを明らかにした。また、このことから温度ひび割れ指数を地下連続壁に適用して、温度ひび割れの評価ができることを明らかにした。

5. まとめ

地下連続壁のひび割れの評価方法について検討して得られた主な結果は次のとおりである。

(1) 提案した応力算定方法で求めた温度ひび割れ指数とひび割れ密度の実測値とを比較した結果、温度ひび割れ指数が小さければひび割れ密度も小さく、ひび割れ程度の傾向がよく一致しており、温度ひび割れ指数を地下連続壁に適用して、温度ひび割れの評価ができることを明らかにした。

(2) 地下連続壁に発生するひび割れ密度と温度ひび割れ指数の間にはある程度の相関があり、温度ひび割れ指数が1.5以上ではひび割れ密度は小さく、漏水を伴うような有害なひび割れを施工時に防止したい場合に相当することを明らかにした。

参考文献

- 1) 大友忠典, 田沢雄二郎, 村田俊彦, 馬場英次郎: 高性能地下連続壁のコンクリートの実大規模実証実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.1239 ~ 1244, 1994.
- 2) 横田和直, 井関英生, 坂本淳, 小松原徹: 超高強度・高流動コンクリートの地下連続壁への適用—硬化コンクリートの性質—, 土木学会第50回年次学術講演会概要集V, pp.1156 ~ 1157, 1995.9.
- 3) 三浦律彦, 峯岸孝二, 関見一, 岩井稔: 高ピーライトセメントの高強度地下連続壁への適用性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.271 ~ 276, 1994.
- 4) マスコンクリートの温度応力研究委員会: マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書, 日本コンクリート工学会, 1985.11.
- 5) 吉岡保彦, 両角昌公, 渡辺真次: マスコンクリートのひび割れ予測システムの開発とその適用例, 日本コンクリート工学会第2回マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集, pp.29 ~ 34, 1984.3.
- 6) 木村克彦, 後藤貞雄, 根上義明: 高強度地中連続壁の温度上昇特性に関する実験的研究, 土木学会第44回年次学術講演会概要集V, pp.350 ~ 351, 1989.10.
- 7) 木村克彦, 小野定, 館崎真司: 二面拘束されたコンクリート構造物の外部拘束に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9-2, pp.13 ~ 18, 1987.
- 8) 土木学会コンクリート標準示方書(昭和61年版)設計編, pp.23 ~ 28.
- 9) 木村克彦, 小野定: マスコンクリート構造物の温度ひび割れ発生の評価方法に関する研究, 土木学会論文集第375号/V-6, pp.61 ~ 70, 1987.2.
- 10) 木村克彦, 小野定, 館崎真司: 二面拘束されたコンクリート構造物の拘束体の温度降下による被拘束体の応力緩和に関する一考察, 土木学会第42回年次学術講演会概要集V, pp.380 ~ 381, 1987.9.
- 11) 道路橋示方書・同解説 I 共通編, IV 下部構造編, 日本道路協会, pp.200 ~ 203, 1994.2.
- 12) 中村修, 勝吉忠市, 木村克彦: 高強度地中連続壁による大空間の施工—14万KL LNG 地下タンク工事—, 土木学会第8回施工体験発表会, pp.73 ~ 82, 1989.2.
- 13) 木村克彦, 中原邦昭, 黒田正信: 地下連続壁の平均温度の簡易計算方法に関する一考察, 土木学会第51回年次学術講演会概要集V, pp.828 ~ 829, 1996.9.
- 14) 土木学会コンクリート標準示方書(平成3年版)施工編, pp.136.

(1996.6.13 受付)

A STUDY ON EVALUATING METHOD OF THERMAL CRACK ON DIAPHRAGM WALL

Katsuhiko KIMURA, Kuniaki NAKAHARA, Masanobu KURODA and Hidetaka UMEHARA

The demand for the diaphragm wall to use as a permanent structure has increased due to its durability and water tightness. However, there has not been enough a study on the thermal crack control of the diaphragm wall for the heat hydration.

This paper proposes the simplified method to evaluate the thermal crack on the diaphragm walls. This method based upon the studies on the ground restraint and several factors influencing the degree of restraint and equivalent temperature drop of the diaphragm wall. It is shown that when thermal crack index is over 1.5, the thermal crack density that is crack length of unit area of element, is small. The thermal crack index is applicable to the evaluating method of thermal crack on diaphragm wall. The result verified the method has relatively well accuracy in the evaluation.