

[2003] 二面拘束されたマスコンクリート構造物の外部拘束度に関する研究

正会員 ○木村克彦 (清水建設株木本部)
 正会員 小野 定 (清水建設株木本部)
 正会員 館崎真司 (清水建設株木本部)

1. まえがき

近年、構造物の大型化に伴い地中連続壁の本体構造の一部としての利用または高強度化が経済性の面などから要求されるようになってきた。とくに、地中連続壁を本体構造物として利用する場合、耐久性などの面から水和熱による施工時の温度ひびわれ制御が重要な課題となってくる。一方、マスコンクリートの水和熱による施工時温度応力を簡易的に推定するためにはコンクリートの力学定数、温度変化とともに外部拘束度の評価は重要であり、ACI¹⁾、小野²⁾、吉岡³⁾などの方法が提案されている。しかし、これらは一面拘束された構造物の外部拘束度に関するもので、地中連続壁の後打エレメントなどのように両側に拘束体がある二面拘束された構造物の外部拘束度に関する報告はほとんどない。また、一面拘束と二面拘束では応力発生に関する拘束条件が異なることから発生する応力も相違すると考えられ、このため二面拘束された構造物の水和熱による温度応力を推定するには二面拘束された場合の拘束度が必要となる。

本研究では、地中連続壁を対象に被拘束体（後行エレメント、Bエレメント）の両側に拘束体（先行エレメント、AおよびBエレメント）がある二面拘束された場合の外部拘束度に及ぼす諸要因のうち影響が大きいと考えられる被拘束体と拘束体のヤング係数比および被拘束体と拘束体の幅比が拘束度に及ぼす影響について有限要素法により解析的に検討した。

2. 解析方法

2.1 解析上の仮定

解析は2次元有限要素法による平面応力解析（X-Z平面）を行い、解析にあたっては次のような仮定をした。

- 拘束体は左右対称に存在する。
- 拘束体のうちAエレメントまたはBエレメントのヤング係数はそれぞれ等しい。（図-1および2参照）
- 各エレメント間に相対変形は生じない。
- 自重は考慮しない。

2.2 解析モデル

解析に用いたモデルおよび要素分割の一例を図-1に、解析モデルの平面図を図-2に示した。なお解析モデルは1/4モデルである。図中の■が被拘束体で他が拘束体である。本解析では、地中連続壁の長さL=80m、厚さt=1.2m、被拘束体のヤング係数E_B=1.0×10⁶

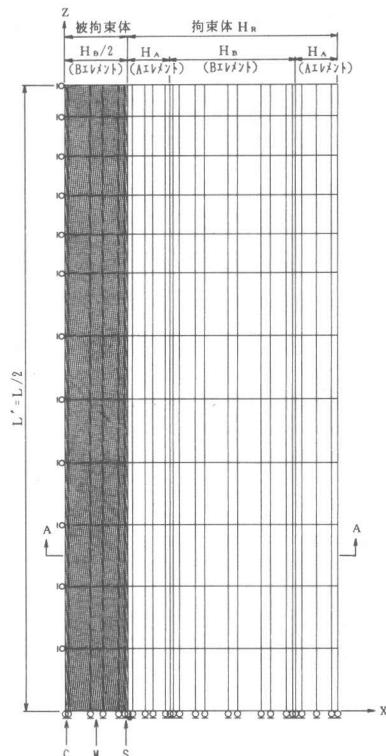


図-1 解析モデル図

t/m^2 、被拘束体の温度降下量 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ とした。

2.3 解析要因

解析で取上げた要因は、被拘束体と拘束体のヤング係数比 E_B/E_A 、 E_B/E_B' および被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R でありその水準を表-1に示した。 E_B/E_A 、 E_B/E_B' が拘束度 R に及ぼす影響の検討においては H_B/H_R は 0.6 とし、そして E_B/E_B' が 2.0、4.0 の場合についても検討した。これは拘束体に B エレメントが一つある場合である。

2.4 拘束度の定義

温度変化により発生する応力が式(1)で与えられるとして、拘束度は式(2)で定義する。⁴⁾

$$\sigma_z = R \alpha \Delta T E_c \quad (1)$$

$$R = \frac{\sigma_z}{\alpha \Delta T E_c} \quad (2)$$

ここに、

σ_z : 温度降下による Z 方向発生応力

R : 拘束度

α : 熱膨張率

ΔT : 温度降下量

E_c : ヤング係数

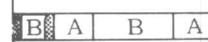
3. 解析結果及び考察

3.1 ヤング係数比が拘束度に及ぼす影響

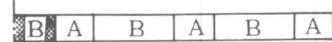
a. 拘束度分布

図-3に σ_z 分布の一例を示した。被拘束体と拘束体の境界では発生する応力の符号が反対であるため応力コンターは密になっている。また、解析において被拘束体のヤング係数および温度降下量を $E_B = 1.0 \times 10^6 t/m^2$ 、 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ としているので、発生応力 (t/m^2) は拘束度を百分率で表したものに等しい。図-4～図-6には $H_B/H_R =$

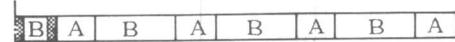
$$\begin{cases} H_B/H_R = 0.6 \\ H_B/H_R = 0.33 \\ H_B/H_R = 0.23 \end{cases}$$



$$\begin{cases} H_B/H_R = 0.6 \\ H_B/H_R = 0.33 \\ H_B/H_R = 0.23 \end{cases}$$



$$\begin{cases} H_B/H_R = 0.6 \\ H_B/H_R = 0.33 \\ H_B/H_R = 0.23 \end{cases}$$



注) 1) ■ 部は、被拘束体を示す。

2) 図中、A、B は、エレメント種類を示す。

図-2 解析モデル平面図 (A-A)

表-1 解析要因一覧表

要因	水準数	水 準
E_B/E_A	3	0.5, 0.75, 1.0
E_B/E_B'	5	0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 4.0
H_B/H_R	3	0.23, 0.33, 0.6
H_B/H_A	1	3.0
L/H_B	1	10

E_B : 被拘束体(B エレメント)のヤング係数
 E_A : 拘束体のうち A エレメントのヤング係数
 E_B' : 拘束体のうち B エレメントのヤング係数
 H_B : B エレメントの幅
 H_A : A エレメントの幅
 H_R : 拘束体の幅
 L : 被拘束体および拘束体の長さ

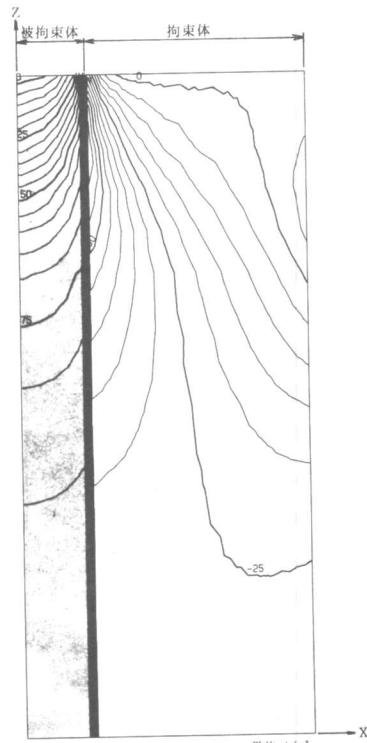


図-3 σ_z 分布図

0.6の場合の各ヤング係数比の組合せ時のZ方向拘束度分布を示した。なお、図中のC、M、Sは図-3に示した位置を意味する。これらの図から、位置C、Mにおける拘束度は、 Z/L' が0.5から0.6位まではほぼ一定であるが、 Z/L' がそれ以上になると急速に拘束度が0に近づいている。しかし、位置Sでの拘束度は、C、Mに比べて拘束体による拘束の影響が大きいため Z/L' が0.6から0.7位までほぼ一定で、それ以上では拘束度が減少しているが減少の程度はC、Mより緩やかである。また、拘束度がほぼ一定区間におけるC、M、Sでの拘束度はヤング係数比が同じであれば大差なく、その値は0.77から0.88であることがわかる。

次に複数のエレメントから成る拘束体のヤング係数の評価の仕方が拘束度に及ぼす影響について検討する。ここでは拘束度のうち被拘束体に最も近いAおよびBエレメントのヤング係数をそれぞれ E_A 、 E_B' で与えた場合と式(3)で換算して拘束体のヤング係数とした場合の拘束度分布について比較する。

$$E_R = 1/2 (E_A + E_B') \quad (3)$$

ここに

E_R : 拘束体の換算ヤング係数

図-7に位置Cにおける拘束度分布を示した。拘束体のヤング係数を換算ヤング係数とした場合とそれとの値とした場合の拘束度分布は大差なく、拘束度は拘束体のヤング係数を E_A 、 E_B' で与えるよりも E_R で与えた方が0~2%大きい値を示している。このようなことから、被拘束体の拘束度は拘束体のヤング係数を式(3)で与えても E_A 、 E_B' で与えてもその差は小さく実用上適当な方法であると考えられる。

b. 拘束度とヤング係数比の関係

図-8に拘束度とヤング係数比の関係を示した。また、ここで言う拘束度とは被拘束体の $Z=0$ での拘束度の平均値である。地中連続壁ではAエレメントを先行施工するためヤング係数間に次の関係が成り立つ。

$$E_B/E_B' > E_B/E_A \quad (4)$$

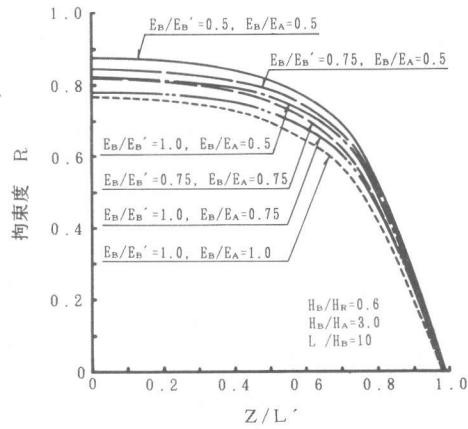


図-4 拘束度分布 (C)

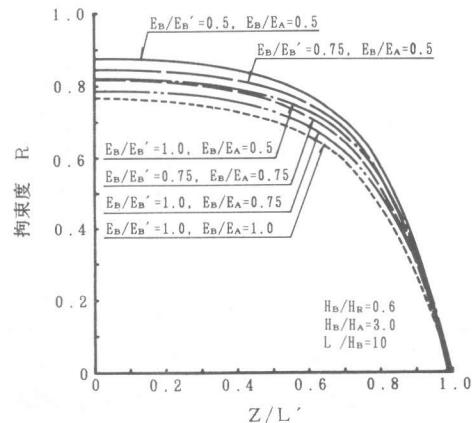


図-5 拘束度分布 (M)

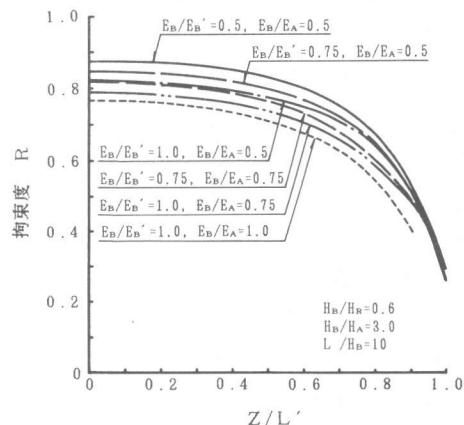


図-6 拘束度分布 (S)

$$E_B/E_A < 1.0 \quad (5)$$

図-8から E_B/E_B' が同一であれば E_B/E_A が大きいほど拘束度は小さくなる傾向があることがわかる。また同一の E_B/E_A に対しては E_B/E_B' が小さいほど拘束度は大きくなっている。 E_B/E_B' が 1.0 以上では $E_B/E_B' \leq 1.0$ の場合に比較して拘束度の変化が大きい。このことは図-9に示した拘束度と E_B/E_B' の関係からもわかる。また図-9に示すように、同一の E_B/E_A に対する E_B/E_B' の増加割合の比が同じであれば、その間の拘束度の増加量はほぼ等しいことが推定できる。図-8から $E_B/E_B' = 1.0$ の $R \sim E_B/E_A$ 曲線をある点を中心にして回転することより他の E_B/E_B' 曲線と重なることが認められた。以下、 $E_B/E_B' = 1.0$ の $R \sim E_B/E_A$ 曲線を基本曲線という。このことから基本曲線と図-9などから求めた E_B/E_A 、 E_B/E_B' に対する拘束度を用いれば任意の E_B/E_A 、 E_B/E_B' に対する拘束度を求めることができる。このようにして求めた拘束度とヤング係数比の関係を図-10に示した。図-8と図-10を比較すればこれらはほぼ同じであることがわかる。

3.2 被拘束体と拘束体の幅比が拘束度に及ぼす影響

a. 拘束度分布

図-11および図-12にヤング係数比が $E_B/E_A = 0.5$ 、 $E_B/E_B' = 0.75$ と $E_B/E_A = E_B/E_B' = 1.0$ で被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R が 0.6、0.33、0.23の場合の拘束度分布の例を示した。これらの図から H_B/H_R が異なっても拘束度分布はほぼ同じ形状をしており、拘束度は Z/L' により大差なく、その差は 2~3% であることがわかる。また、拘束度分布は、 H_B/H_R が 0.33 と 0.23 では同一である。このことから拘束度に影響を及ぼす拘束体の幅は被拘束体の約 3 倍であると推定できる。

b. 拘束度

図-13に被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R が 0.6、0.33、0.23とした場合の拘束度とヤング係数比の関係を示した。図からヤング係数比が同じであれば H_B/H_R が小さくなるほど拘束度が大きくなっていることがわかる。また、前述のように $H_B/H_R = 0.33$ と 0.23 では同一ヤング係数比に対する拘束度は同じである。 H_B/H_R の減少に伴う拘束度の増加は、 E_B/E_B' が同一であれば E_B/E_A が大きいほど大きくなる傾向を示

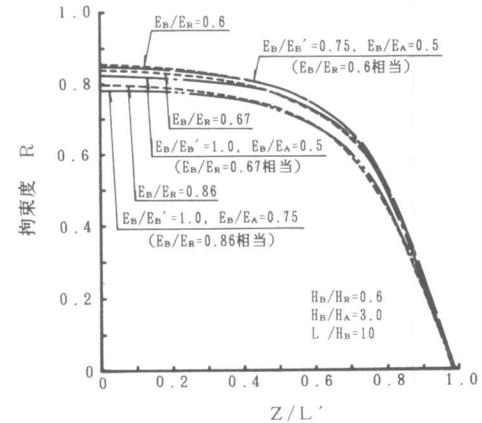


図-7 拘束度分布 (C)

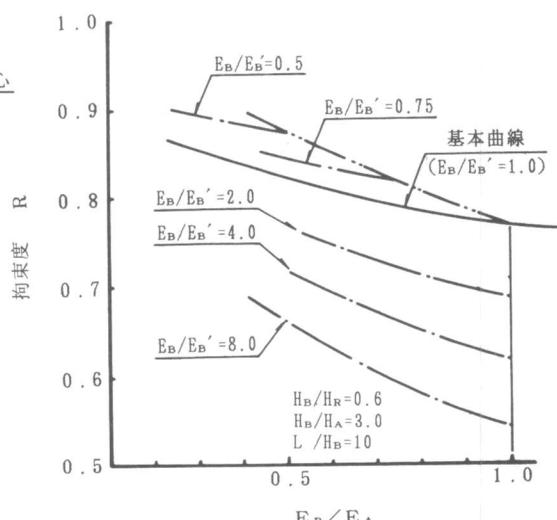


図-10 拘束度とヤング係数比との関係（推定曲線）

しており、 H_B/H_R が0.6から0.33に減少する間の拘束度の増加は $E_B/E_A=0.5$ で2~3%、 $E_B/E_A=1.0$ で約4%である。

3.1 bでも述べたように、任意の E_B/E_B' 、 H_B/H_R に対する $R \sim E_B/E_A$ 曲線をある点を中心に回転することにより得られる曲線は他の E_B/E_B' 、 H_B/H_R に対する $R \sim E_B/E_A$ 曲線と重なることが認められた。また、回転中心および基準曲線は図-10に示したものと同じである。

また、従来の一面拘束された場合の簡易法による拘束度と、ここで提案した方法による拘束度の定性的な傾向を比較すれば、被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R が大きい場合には、拘束度は従来の簡易法がやや大きく、 H_B/H_R が小さくなる場合、たとえば拘束体としてAエレメントのみある場合は、本法の方がかなり小さくなるようである。

4.まとめ

本研究では、地中連続壁を対象に被拘束体の両側に拘束体がある二面拘束された場合の外部拘束度について検討したものである。本研究の結果得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 被拘束体の温度変化により発生する応力の拘束度は被拘束体と拘束体のヤング係数比が大きいほど小さく、被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R が小さいほど大きい。ただし H_B/H_R がある値以下にな

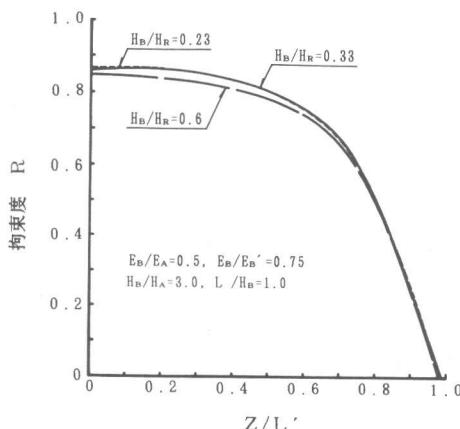


図-11 拘束度分布(C)

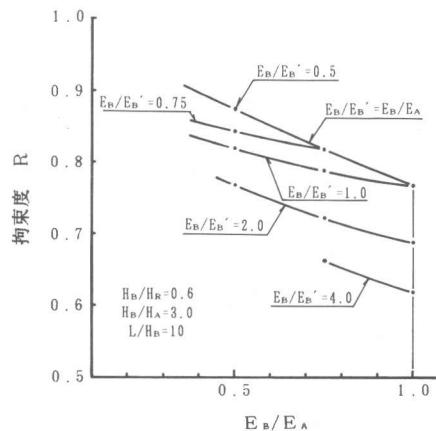


図-8 拘束度とヤング係数比との関係

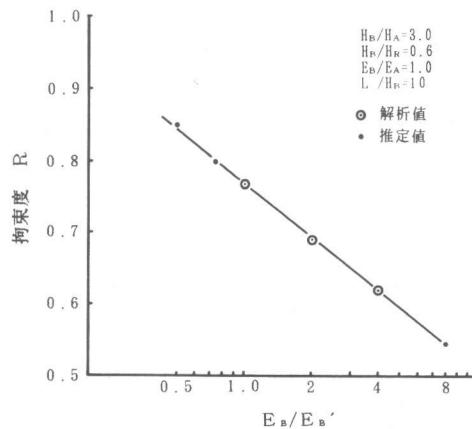


図-9 拘束度と E_B/E_B' との関係

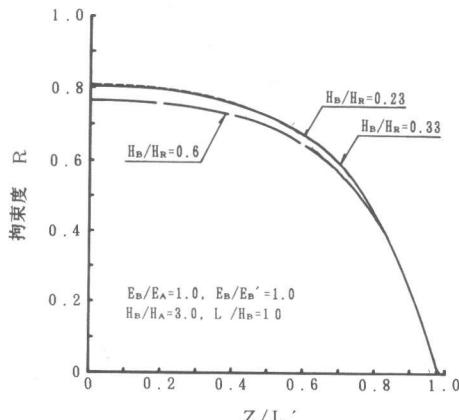


図-12 拘束度分布(C)

ると拘束度はこの影響をほとんど受けない。

(2) 任意の被拘束体と拘束体 (B エレメント) とのヤング係数比 E_B/E_B' 、被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R での拘束度 R と被拘束体と拘束体 (A エレメント) とのヤング係数比 E_B/E_A の関係がある点を中心に回転することによって任意の E_B/E_B' 、 H_B/H_R に関する R と E_B/E_A との関係を得ることができる。

(3) 二面拘束された構造物の外部拘束度に関する評価方法を被拘束体と拘束体のヤング係数比 E_B/E_A 、 E_B/E_B' 、被拘束体と拘束体の幅比 H_B/H_R により与えた。

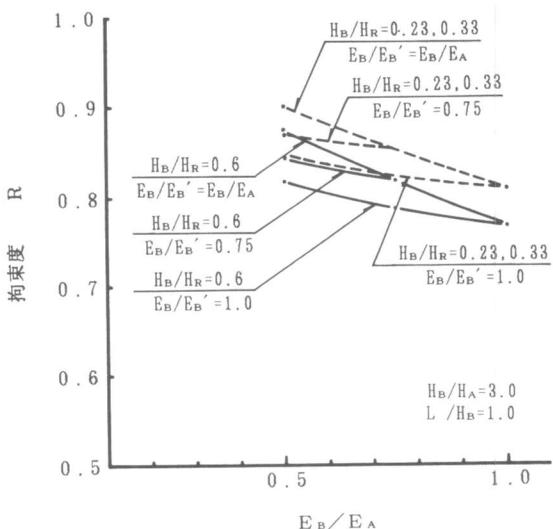


図-13 H_B/H_R が拘束度に及ぼす影響

(参考文献)

- 1) ACI 207 Committee, Jour. of ACI, vol.70, July 1973
- 2) 小野定: マスコンクリートの温度ひびわれ制御に関する研究、北大学位論文、昭和59年9月
- 3) 吉岡保彦、米沢敏男: マスコンクリートの温度応力算定に用いる外部拘束度に関する研究、第8回コンクリート学年次講演会論文集、1986
- 4) 木村克彦、小野定: マスコンクリート構造物の温度ひびわれ発生の評価に関する研究、土木学会論文集、第378号/V-6 1987年2月