

地盤の拘束を考慮に入れた、はり要素による温度応力解析

名城大学大学院 学生会員 ○竹島 典秀

名城大学 正会員 石川 靖晃

1. はじめに

近年、コンクリート構造に対する施工法の多様化に伴い、打設時に生じる温度ひび割れ発生メカニズムも複雑になってきている。このような初期ひび割れの発生を予測する手法としては、3次元FEMがもっとも有力であるが、計算や時間に対するコストが大きいことから、最近、石川ら¹⁾によりCP法とはり要素を組み合わせた解析手法が提案され、提案手法は少数主桁PC床版のような桁構造の温度ひび割れに対して有効であると石川らは述べている。

本研究では、提案手法をボックスカルバートのような地盤に打設されたコンクリート構造についても適用できるようにすることを目的として、提案手法に地盤の拘束の影響を導入することを試みた。そしてその妥当性について解析的に検討した。

2. 石川ら¹⁾による提案手法の概要

提案手法の骨子を以下に述べる。まず、コンクリート構造を時間毎に材料特性のみならず断面形状までもが変化するはりの集合体としてモデル化する。そして、はり要素断面の初期ひずみ分布を図-1で示すようなCP法の考えを基に、軸ひずみ $\bar{\epsilon}_0$ および曲率 $\bar{\phi}_0$ としてはり要素に導入する。このとき、はり要素の剛性方程式は次式で表される。

$$[K]\{u\} - \{f\} - \{f_0\} = 0 \quad (1)$$

ただし、 $[K]$ ははり要素の剛性マトリクス、 $\{u\}$ 、 $\{f\}$ はそれぞれ節点変位、節点外力である。さらに、

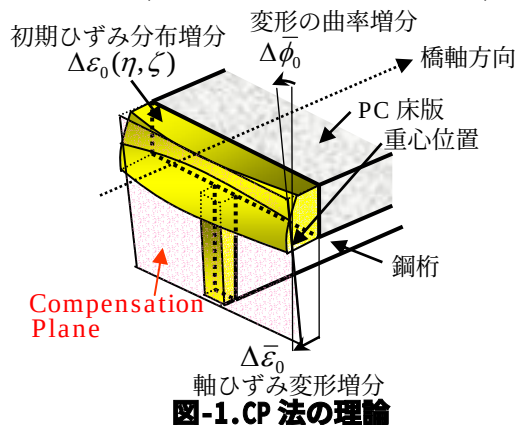


図-1.CP法の理論

$$\{f_0\} = \int_V [B]^T [D] \left\{ \begin{matrix} \Delta \bar{\epsilon}_0 \\ \Delta \bar{\phi}_0 \end{matrix} \right\} dV \quad (2)$$

である。ここで、 $[B]$ はひずみ-変位マトリクス、 $[D]$ は曲げ剛性 EI と軸剛性 EA を対角項にもつマトリクスである。最後に、はり要素内の応力 $\{\sigma\}$ を次式で算定する。

$$\{\sigma\} = \{\sigma_I\} + \{\sigma_R\} \quad (3)$$

但し、 $\{\sigma_I\}$ は内部拘束応力であり、 $\{\sigma_R\}$ は(1)の剛性方程式を解いて得られた外部拘束応力である。

3. はりの要素の地盤による拘束の定式化

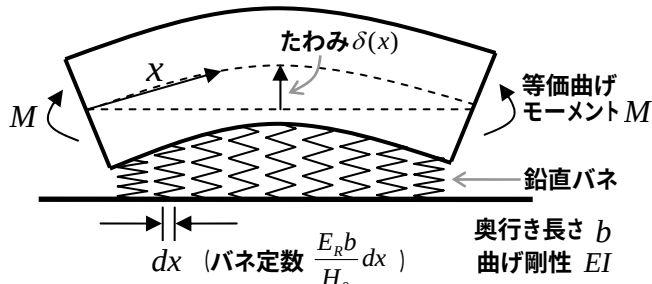


図-2.鉛直地盤バネによる拘束

前述した解析手法を用いて地盤拘束を表現する場合、節点に地盤を表す鉛直あるいは水平バネを重ね合わせる方法が一般的である。これらのバネ剛性を合理的に評価する必要がある。ここでは、これらのバネ剛性をCP法で使用される外部拘束係数 R_N 、 R_M で表現することを試みた。この場合、地盤ははり要素に対して曲げと軸変形を拘束することになる。まず、曲げ拘束のみを考える。図-2に示すように、温度変形したはり要素が連続的に分布する鉛直地盤バネによって拘束され、曲率が ϕ であったとする。さらにこのはりの両端に等価な曲げモーメント M が作用しており、力の釣合いを保っているとする。このとき、仮想仕事の原理を用いて M を求めると次式となる。

$$M = -\frac{E_R b \phi L^4}{120 H_0} \quad (4)$$

ここで、 E_R は地盤の弾性係数、 b ははり要素の幅、 L ははり要素の長さ、 H_0 は鉛直地盤バネの長さである。一方、外部拘束の定義から次の2式が得られる。

キーワード 温度応力解析、地盤バネ、はり要素、外部拘束係数、CP法

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学 TEL052-832-1151

$$M = -R_M EI \phi_0, \quad R_M = \frac{\phi_0 - \phi}{\phi} \quad (5)$$

但し、 ϕ_0 は拘束が無い場合の曲率である。式(4)、(5)から、 M 、 ϕ を消去すると最終的に次式が得られる。

$$\frac{E_R b L}{H_0} = \frac{120 R_M EI}{(1 - R_M) L^3} \quad (6)$$

式(6)の左辺は鉛直方向の全体的な地盤によるバネ剛性を表している。一方、式(6)の右辺は EI 、 R_M 、 L のみの関係となっている。

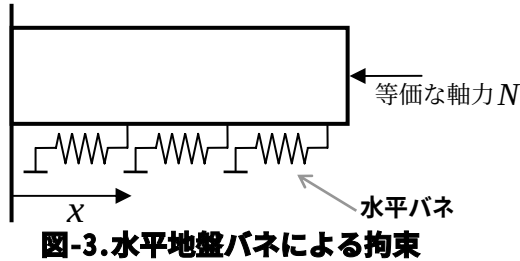


図-3. 水平地盤バネによる拘束

次に軸拘束のみを考える。図-3 に示すように、連続的に分布する水平バネによって要素が拘束され、軸ひずみが ε 生じるとする。さらにこのはりの両端に等価な軸力 N が作用し、力の釣合いを保っているとする。このとき、曲げ拘束の場合と同様に式展開を行うと最終的に次式が得られる。

$$\frac{E_R b L}{L_0} = \frac{3 R_N EA}{(1 - R_N) L} \quad (7)$$

但し、 L_0 は水平地盤バネの長さである。式(7)の左辺は水平方向の全体的な地盤によるバネ剛性を表している。

式(6)、(7)で評価した剛性を有するバネを **2** で示した剛性方程式に重ね合わせるにより、提案手法の中に地盤バネの影響を外部拘束係数を含めて考慮することが出来る。

4. CP 法との比較検討

図-4 に示すような、地盤バネが結合されたコンクリートはりについて上述の方法を用いて温度応力解析を行い、CP 法による解と比較検討を行う。メッシュ分割数は長さ方向に 40 等分、高さ、奥行き方向に 10 等分とした。使用材料は 91 日圧縮強度が 30 N/mm^2 の普通コンクリートを仮定し、その熱特性値および強度特性値はコンクリート標準示方書(施工編, 2002)に従った。熱に対する境界は、はり下面部では断熱とし、他の面では熱伝達率 $14 \text{ W/m}^2\text{C}$ の熱伝達境界とした。式(6)、(7)で評価される地盤バネ剛性に関しては、全ての節点に対してバネ剛性を按分する形で与えた。

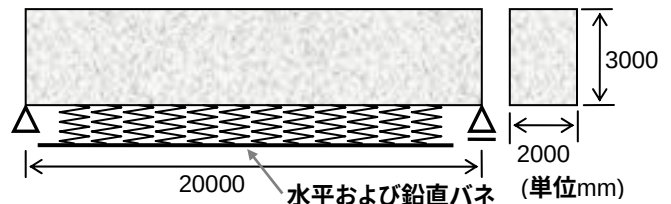


図-4. 解析対象はり

外部拘束係数 R_N 、 R_M を適宜与えて、提案法と CP 法により得られた応力の経時変化を図-5 に示す。提案法と CP 法による応力解はよく一致しているが、このケースだけの結果であり、一般的な結論であるとは言い難い。今後、様々なケースについてより詳細な解析検討を進めると同時に、各節点の地盤バネ剛性の与え方についても考察を深める必要がある。

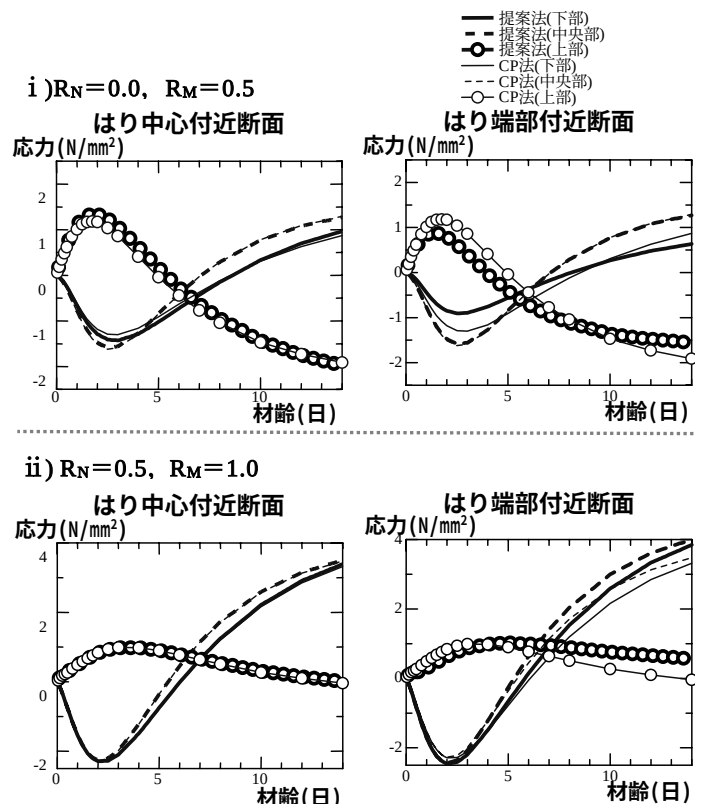


図-5. 応力の経時変化

5. まとめ

本研究では地盤バネ剛性を外部拘束係数を含めた形で表現することを試み、はり要素を用いた温度応力解析に適用することを試みた。現段階では一般的な結論を得たとは言い難いが、今後、解析的検討を行っていけば、提案した方法の妥当性は示されるものと思われる。

参考文献

- 1) 石川靖晃, 西垣義彦, 田辺忠顕: 移動型枠支保工による PC 厚肉床版施工時ひび割れ評価法の提案, プレストレスコンクリート, Vol.45, No.3, PP.97-107, 2003