

鹿島建設技術研究所	正会員	山野辺 慎一
横浜国立大学工学部	正会員	椿 龍哉
横浜国立大学工学部	正会員	池田 尚治

1. はじめに 境界要素法は線形で均質な場に対しては効果的な方法であり、変位と表面力を未知量とするので、クーロン摩擦則に従う接触面の挙動を表わすのに適している。一方、有限要素法は材料の非線形性、非均質な領域を容易に扱うことができる。近年、こうした両手法を組み合わせる結合解法が注目されるようになった。本研究は、結合解法を鉄筋コンクリートに適用し、境界要素法を鉄筋コンクリートに応用して行く上での可能性や問題点、今後の方針等を考察するものである。

2. 結合解法 本研究の有限要素法と境界要素法の結合解法は、有限要素領域を境界要素領域と見なす方法であり、この方法は領域間の接触問題、すなわち、接触面のすべりや剥離を表わすことが可能である。また、この定式化を一般化することにより、有限要素領域同志にも接触問題を考えることができる。結合解法に必要となる分布マトリックスの計算においては、境界上での表面力が、要素内で線形に変化すると仮定した。

3. 接触面における摩擦によるせん断伝達 界面に相当する接触面での摩擦は以下の様なクーロン摩擦則を用いた¹⁾。

$$|f_t| < C - \mu f_n \quad (f_n < 0) \quad (1)$$

C : 粘着力 μ : 摩擦係数

が成立するならば接触面は連続(固着)とし、変位と表面力の連続性は次の4式で表わす。

$$\begin{aligned} f_n^1 - f_n^2 &= 0, & u_n^1 + u_n^2 &= 0 & (2a, 2b) \\ f_t^1 - f_t^2 &= 0, & u_t^1 + u_t^2 &= 0 & (3a, 3b) \end{aligned}$$

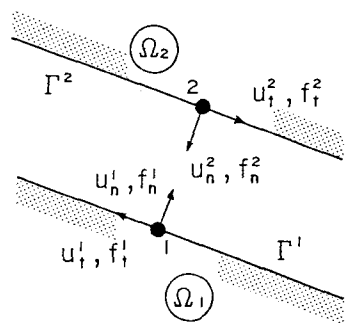


図-1 界面の概略図

ただし、 u は変位、 f は表面力、 n と t はそれぞれ法線方向、接線方向を表わし、指標1, 2は界面の接触点の属する領域を意味する(図-1参照)。 $|f_t|$ が(1)式の右辺をこえれば、摩擦をともなつてすべるとし、連続性は上の4式のうち、(3b)式のかわりに次の条件を課す。

$$f_t^k = \pm \mu f_n^k \quad (k=1, 2) \quad (4)$$

また(1)式において $f_n > 0$ の下で $|f_t|$ が右辺をこえた場合、あるいは一度すべつた接触面において引張表面力が生じた場合は、界面が剥離している状態へ移行することを意味し、接触している節点を分離し、連続条件や摩擦条件は課さない。こうしたひびわれによる解放力は、ひびわれる直前に生じていたその節点の表面力と逆向きの表面力を外力として作用させることで考慮した。

4. 数値解析例と考察 接触面上で述べた様な定式化を用いる結合解法は、いわゆる discrete model の有限要素法と同じ様に、界面の位置や方向を適切に予測する必要があるものの、界面の局所的な挙動やその部材全体への影響を解析するのに適した手法である。以下にその適用例を示す。

想定したはりは、図-2 に示す様な3等分点荷重を受ける単鉄筋コンクリートはり(かぶりコンクリートは無視)で、その左半分を図-3の様にモデル化した。コンクリート部分は2つの境界要素領域と1つの有限要素

領域に分け、鉄筋は1つの有限要素領域とした。ひびわれ面や鉄筋とコンクリートの付着面に相当するそれらの接触面には、3. で述べた条件を課した。ひびわれ面では $C = 26 \text{ kgf/cm}^2$, $\mu = 1.4$, 付着面では $C = 100 \text{ kgf/cm}^2$, $\mu = 1.0$ を用いた。ただし、付着面では法線方向表面力が非常に小さいので、(1), (4) 式より、付着応力が C よりも小さければ完全な付着(固着)、 C をこえれば付着の破壊を意味する。

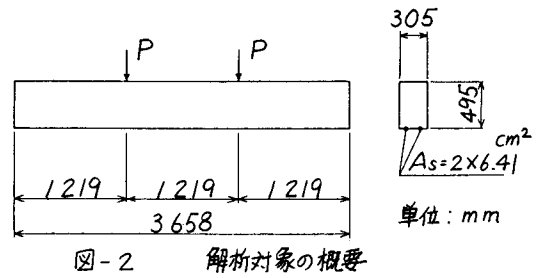


図-2 解析対象の概要

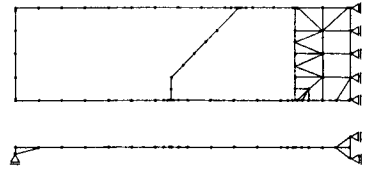


図-3 要素分割図

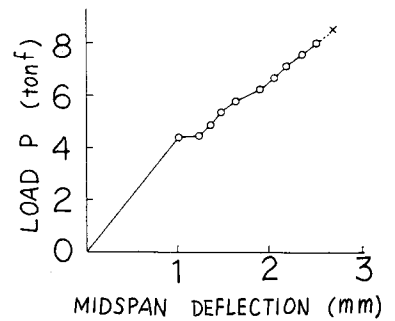


図-4 荷重と支間中央のたわみ

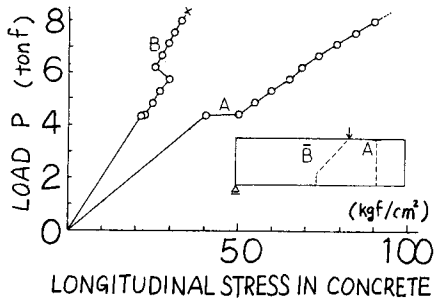


図-5 荷重とコンクリートの応力

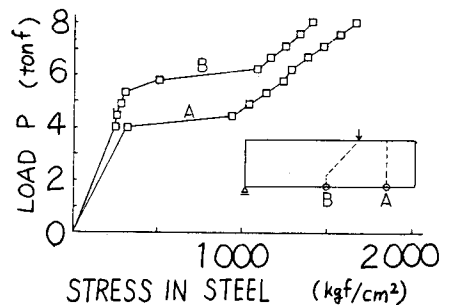


図-6 荷重と鉄筋の応力

主な計算結果を図-4～図-8に示す。支間中央のたわみ、鉄筋やコンクリートの応力からは、ひびわれの発生にともなう急激な変化が見られた。内部の応力分布からは、ひびわれにより鉄筋の応力が局部的に高くなっていることも解析できた。図-8のたわみの図からわかるように、ひびわれ面でのずれなどの局部的な挙動も得ることができた。破壊の形式は斜めひびわれが載荷点まで達したことによるせん断破壊であり、その時の平均せん断応力は、約 6 kgf/cm^2 であった。

5、あとがき 本研究の結合解法は discrete model の有限要素法と同じ様に界面の挙動やその部材への影響を解析するのに有効な手法であることが示された。今後はすべりによる解放力を取り入れたり、ひびわれ基準を改良することが必要と思われる。

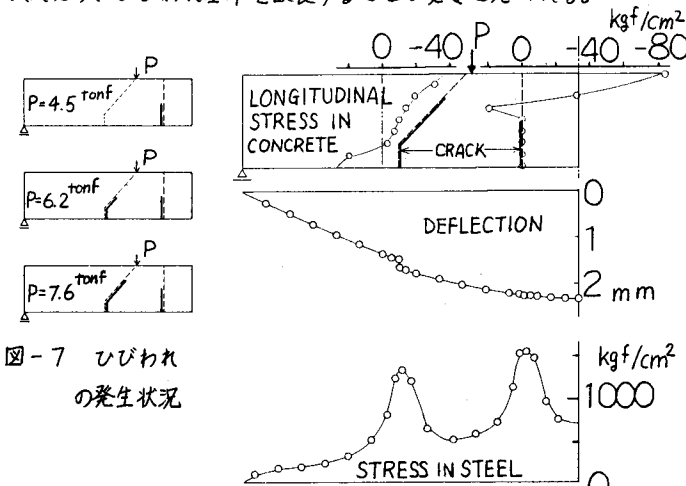


図-7 ひびわれの発生状況

図-8 たわみと応力の分布 ($P = 7.6 \text{ tonf}$)

〔参考文献〕

- 1) 橋, 山野辺, 池田: 面内力を受けるコンクリート平板の解析に関する一考察 -有限要素法と境界要素法- RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, 日本コンクリート工学協会, October 1983, pp.29-36.
- 2) Brebbia, C.A.: The Boundary Element Method for Engineers, Pentech Press, London, 1978.