

ASR 膨張を抑制するスターラップの効果に関する有限要素解析

立命館大学 正会員 水田 真紀
 立命館大学 学生員 武田 裕之
 立命館大学 正会員 児島 孝之

1. はじめに

ASR の影響を受けたコンクリート構造物の変状は、境界条件、鉄筋量、温度や湿度等の影響を受けて、異なることが予想される。そこで本研究では、接触要素の適用により ASR 膨張とひび割れ進展を考慮した 2 次元有限要素解析を行い、ASR 膨張を抑制するスターラップの効果について検討を行った。

2. 解析概要

2.1 ASR の影響を受けたコンクリートのモデル化

ASR による骨材周辺のアルカリシリカゲルの膨張、それに伴うモルタルひび割れを考慮するために、図-1 に示すコンクリート要素を提案した。本要素は、骨材とモルタルマトリクスで構成されたコンクリート要素で、骨材は 6 節点の 2 次アイソパラメトリック三角形要素、モルタルマトリクスは 8 節点の 2 次アイソパラメトリック四辺形要素とした。ここで、図-1 にはスターラップ要素と解析の境界条件も同時に示している。

さらに、図-2 に示す接触要素をすべての要素間にあらかじめ配置し、モルタルマトリクス間のモルタルひび割れ要素 (図-1 中の(1)~(8))、骨材間の骨材ひび割れ要素、ASR による膨張作用を表現するモルタルマトリクス - 骨材間のリング要素の 3 種類に接触要素を区別した。本接触要素は、3 節点から成る 2 本の 2 次アイソパラメトリック線要素で表され、要素特性はひび割れあるいは膨張が生じるまで同座標であった節点と、と、との相対変位と要素を介して伝達される応力の関係で次式のように表される。

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{nn} & C_{nt} \\ C_{tn} & C_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_t \end{Bmatrix} = [C]\{\delta\} \quad (1)$$

ここで、係数 $C_{nn}=C_{tt}=0$ (N/mm^3)、 $C_{nt}=G/t$ (G : せん断弾性係数 (N/mm^2), t : 厚さ 10 (mm)), モルタルひび割れ要素の C_{nn} には 3 乗モデルの引張軟化曲線を導入

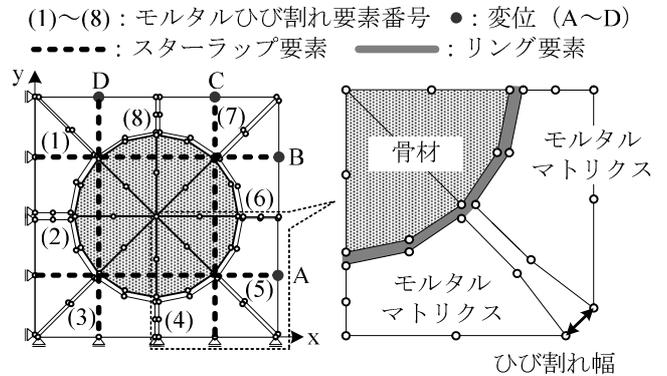


図-1 コンクリート要素

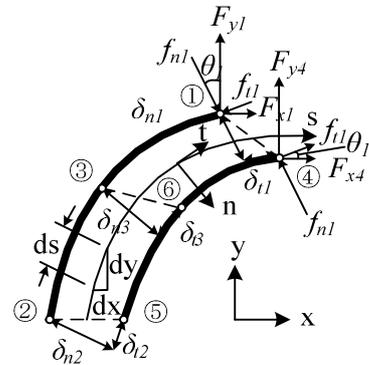


図-2 接触要素

した。また、モルタルひび割れ、骨材ひび割れ、リング要素の弾性係数は、それぞれ $10.0 \times E_{c0}$, $20.0 \times E_{c0}$, $1.0 \times E_{c0}$ (ここで、 $E_{c0}=3.0 \times 10^4$ (N/mm^2)) とした。

スターラップ要素は、提案したコンクリート要素の両端を結ぶ 2 節点の 1 次線要素とし、配筋方向ごとに 2 本ずつ配置した。また、図-1 中の点 A と B および点 C と D、それぞれ 2 点の変位の平均を x および y 方向の膨張量とし、ひび割れ幅はコンクリート要素最外縁のモルタルひび割れ要素節点の相対変位とした。

2.2 解析方法

解析は、1)リング要素にある膨張量を与え、2)モルタルひび割れ要素の引張応力 - ひび割れ幅の関係が引張軟化曲線に一致するよう収束計算し、1)と 2)を繰り返すことにより進めた。また、リング要素には次式の膨張量 m (mm) と経過時間 t (日) の関係を与えた。

キーワード 有限要素法, 接触要素, ASR 膨張, ひび割れ, 拘束

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部都市システム工学科 TEL 077-566-1111 (内線 6873)

$$\delta_m = \frac{1}{2700}(-2T^3 + 15T^2 - 24T + 1) \quad (2)$$

ここで、 $T = \log_{10} t$ である。

解析要因を表-1に示す。本研究では、スターラップの配筋方向と径を要因とし、スターラップを配しないケースも含め、～の4ケースについて解析を行った。

ケース	配筋方向		径
	x方向	y方向	
		-	D6
		-	D13
	(無補強)		

3. 解析結果および考察

(a) スターラップの径による比較

x方向のみにスターラップを配したケースと、無補強のケースのx,y方向の膨張量と経過時間の関係を図-3に、解析終了時のひび割れ発生状況を図-4

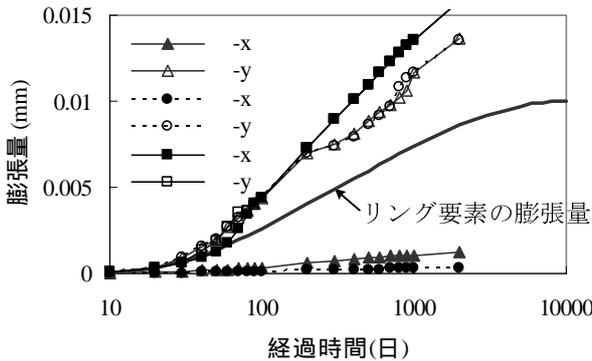


図-3 膨張量と経過時間の関係

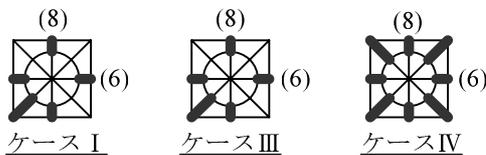


図-4 ひび割れ発生状況

に示す。

ケースIでは、リング要素の膨張により解析モデル全体が均一に変形し、x,y方向の膨張量はほぼ等しく、リング要素に与えた膨張量の約2倍になった。また、モルタルマトリクス部分には、円形の骨材に対して放射状に配置したモルタルひび割れ要素のすべてにひび割れが発生し、解析終了時のひび割れ幅はいずれも0.007 (mm) 程度であった。

一方、x方向にスターラップを配置したケースと

では、x方向の膨張量が無補強のケースよりも格段に小さくなった。さらに、モルタルマトリクス部分のひび割れ発生本数も減少し、スターラップの拘束によるASR膨張の抑制効果が見られた。しかし、スターラップの径によって膨張量の大きな違いは見られず、最大ひび割れ幅となったモルタルひび割れ要素(6)とそれに対して直角方向の要素(8)のひび割れ幅はそれぞれ0.03, 0.01 (mm) 程度であり、無補強のケースよりも増大した。

(b) スターラップの配筋方向による比較

x方向のみにスターラップD6を配したケースとx,y方向にスターラップD6を配したケースの膨張量と経過時間の関係を図-5に、解析終了時のひび割れ発生状況を図-6に示す。

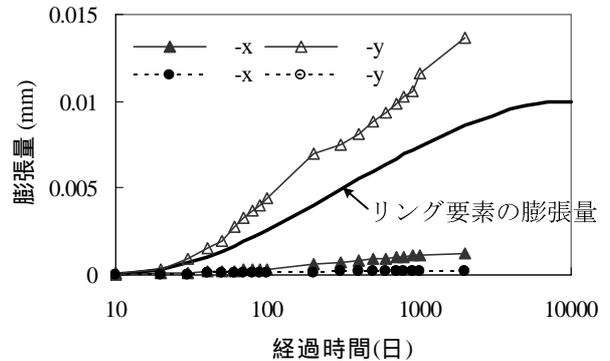


図-5 膨張量と経過時間の関係

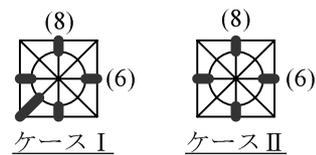


図-6 ひび割れ発生状況

スターラップを配することにより、スターラップ配筋方向の膨張が抑制された。また、径が同じであってもスターラップを2方向に配することにより、1方向のケースよりもさらに膨張量、ひび割れ発生本数ともに減少した。そして、最大ひび割れ幅は要素(6)と(8)で約0.027 (mm) となり、ケースIの最大ひび割れ幅よりも10%程度減少した。

4. まとめ

- (1) ASR 膨張を抑制するスターラップの効果を、ひび割れ発生に関連付けて解析的に評価することができた。
- (2) ASR 膨張をスターラップで拘束することによって、無補強のケースよりもひび割れ数が減少する一方、その幅が増大する可能性があることを示唆した。