

○正会員 柿崎正義（鹿島建設技研） 笹川和郎（鹿島建設設計本部）
河津 亘（鹿島建設設計本部）

I 目的

本研究は、コンクリートの乾燥収縮に起因する壁面の収縮ひびわれが架構（柱、梁）の固定条件及び開口部の大小や位置によってどのように影響されるか、モデル化した壁面を有限要素法によって収縮応力解析して、ひびわれ発生位置、方向及び形態を予想したものである。さらに、解析の結果から得た2、3のひびわれ対策を実際の建物に適用して、その効果を確かめた。

検討範囲は、実際のコンクリート構造物を想定して以下のとおりモデル化したものである。

(1) 無開口壁

- a 一辺固定三辺自由 c 三辺固定一辺自由
b 二辺固定二辺自由 d 四辺固定

(2) 開口壁

- a 開口率50%以下
b 開口率50%以上
c 壁面端部の中央部開口（開口率8%）
d 壁面端部の上部開口（開口率8%）

II 収縮応力解析法^{1), 2)}

これは構造材を線材、面材に構成された任意形の構造物の応力解析である。計算は無限の自由度を持ち連続体を仮想の境界によって有限の要素（線材エレメント、三角形エレメント、四辺形エレメント）に分割して行った。解析は節点の移動、回転を未知量として各エレメント力を表わし、節点の力の釣合方程式から求める変形法に基づいている。解析法の詳細は省略する。

III 仮定条件

このモデルを解析するに当たって、以下の三つを仮定条件とした。

仮定1 架構部材を弾性範囲で解析

仮定2 架構の剛性によるコンクリート応力度(σ)

$$\sigma = K \cdot E_c \cdot \epsilon \quad (0 < K < 1)$$

$$K = 12 E_c \cdot I / l^3$$

ここに、K：柱、梁、壁部材による拘束係数（柱は等価なバネに置換した）、 E_c ：コンクリートの弾

性係数、 ϵ ： At （表1）の荷重を受けたときに生じたひびき度、 l ：部材（柱、梁）の長さ、 I ：部材（柱、梁）の断面二次モーメント

仮定3 鉄筋で内部拘束したコンクリートの収縮拘束緩和率(k)

$$k = 1 / (1 + n \cdot \mu)$$

ここに n ：弾性係数比、 μ ：鉄筋比 コンクリートの線膨張係数 $1 \times 10^{-5} / ^\circ C$

^{1), 2)} 応力解析及び架構による外部拘束は、各部材の自由収縮量を仮定して、架構を幾つかの節点座標で表わし、断面形状、支持条件及び境界拘束条件などを考慮して試みた。応力度は面内の力に対して線材と面材を合成して解いたものである。²⁾

M 壁の固定条件について

(1) 部材断面 a 壁厚180mm b 鉄筋D10-@100mm（ダブル配筋）c 設計基準強度210 Kg/cm², d 弾性係数比15, e 柱、梁：SRC造

(2) 解析モデル

1) 無開口壁

- a ~ c：スパン5m, 階高3m 固定端と自由端
d：スパン5m, 階高2.5m 固定端

2) 開口壁

- a, b：スパン5m, 階高2.5m 固定端とローラー（ブロックの境界部分）、応力解析は壁面の1/4の大きさとした。
c, d：スパン5m, 階高2.5m 固定端

(3) INPUT INPUTした要素を以下に示す。

- a 節点座標 省略 b 固定条件, 境界拘束条件
c 柱、梁、壁の配筋
柱 H-100×100×6×8, D22-4, Hoop St 9φ-@250
梁 H-100×100×6×8, D22-4, St 9φ-@250
壁 D10-@100

d 入力荷重 使用したプログラムの特長から収縮応力を温度低下によって生ずる温度応力に換算（表1）して行った。コンクリート部材の収縮ひびきみは実際建物の調査結果から、柱・梁を 0.8×10^{-4}

壁を 4.8×10^{-4} と仮定した³⁾

表1 拘束による温度ひずみ度

部材	断面		*1) a_t cm ²	μ %	k	温度×k	Δt	*2) 等価温度 ℃
	寸法 mm	面積 cm ²						
柱	250×250	625	24.9	4	0.533	-0.8×0.533	-0.43	-4.3
梁	250×400	1000	24.9	2.5	0.65	-0.8×0.65	-0.52	-5.2
壁	1000×180	1800	14.9	0.79	0.852	-4.8×0.852	-4.09	-40.9

注) *1) $a_t = 15.5 + (21.9 + 3/7) = 24.9 \text{ cm}^2$

*2) 単位自由収縮量 -1×10^{-4} を等価温度に換算して入力する。 $-1 \times 10^{-4} = 10^{-5} \text{ C} \times T$

$\therefore T = -10 \text{ C}$ を入力する。

(4) OUTPUT 解析モデルからは、応力度、変形量、せん断応力度がOUTPUTされるようにした。

V 解析結果と考察

(1) 無開口壁

図1～4に、解析モデルの収縮応力度を示す。

1) 一辺固定三辺自由の場合

収縮応力度は壁面下部に近いほど大きくなり、上部へ移行するにつれて減少していた。壁面下部の自由端の最大応力度は 90 Kg/cm^2 で、中央部へ近づくにつれて減少する傾向を示した。収縮応力度の角度は、自由端に近いほど水平方向に対して角度を持ち、中央部ほど水平方向を示した。ひびわれは、収縮応力度の方向に対して直角に発生することから、壁面下端の自由端で斜めひびわれ（逆八字型）、中央部へ行くにつれて垂直に発生するものと推察される。また、ひびわれ発生は下部ほど多くなり、上部へ行くにつれて減少するものと思う。

2) 二辺固定二辺自由の場合

水平方向の収縮応力度は二辺の固定端の近くで大きくなり、中央部へ近づくにつれて減少の傾向を示した。垂直方向の主応力度は $60 \sim 100 \text{ Kg/cm}^2$ で、水平方向に比して $35 \sim 40\%$ 大きい値を示した。一方、主応力度の角度は、自由端に近いほど水平方向に対して急な角度を持ち、中央部ほど垂直になる傾向を示した。

ひびわれは中央部で水平に、四隅で斜めに発生するものといえる。

3) 三辺固定一辺自由の場合

収縮応力度は三辺の固定端近くで大きくなり、中央部へ近づくにつれ、また上部へ移行するにつれて減少していた。垂直方向の収縮応力度は、水平方向の応力度と同様に中央部へ近づくにつれて減少した。この傾向は舟底型であった。こ

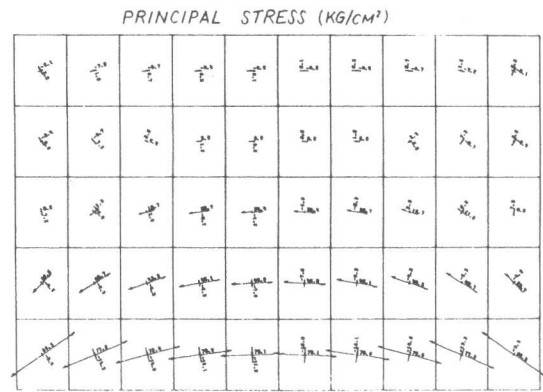


図-1 一辺固定三辺自由

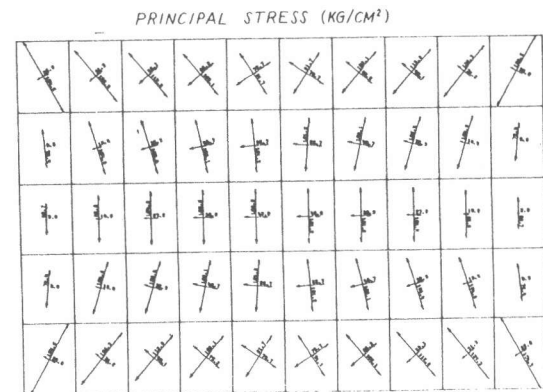


図-2 二辺固定二辺自由

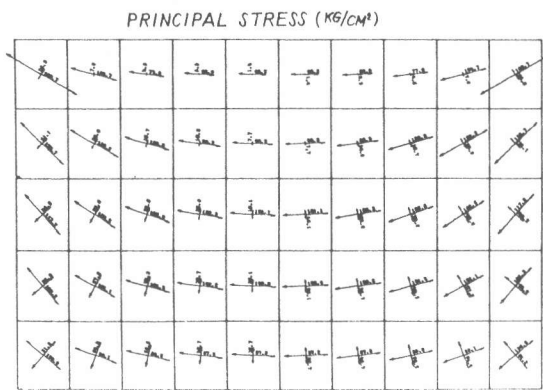


図-3 三辺固定一辺自由

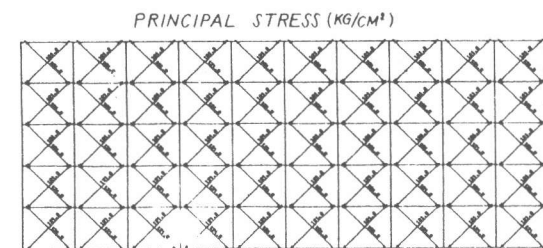


図-4 四辺固定

れより、ひびわれは八字型に発生するものと思われる。

- 4) 四辺固定の場合 主応力度はX・Y方向とも約120Kg/cm²と均一になり、変形量も零の傾向を示した。

この場合、ひびわれは収縮応力度の大小よりも施工不良の箇所に発生するものと推察される。

(2) 開口壁

図5～8に、解析モデルの収縮応力度と変形量を示す。

- 1) 開口率50%以下の場合 開口部周りの収縮応力度は楕円型となり、特に開口部によるコーナー部付近の主応力度は170～220Kg/cm²(直角応力度40～90Kg/cm²)となり、一般壁の115～125Kg/cm²に比して1.5～1.8部の値を示した。また、開口部の中間における上・下端の主応力度は約110Kg/cm²(直角応力度0.5～4Kg/cm²)であった。

このことから、ひびわれが最も入り易い位置は、開口部コーナーから斜め方向に、続いて開口部の水平部材の中間で垂直方向になる。開口部コーナーの斜め方向で主応力度が大きくなる範囲は、開口部の短辺長さの約1/2あるいは約500mmであった。

- 2) 開口率50%以上の場合 開口部周りの最大収縮応力度は、上記1)と同様にコーナー部で120～155(直角応力度38～98Kg/cm²)となり、応力度は開口率が大きいほど小さくなる。また、開口部の中間位置の主応力度は約100Kg/cm²(直角応力度0～0.2Kg/cm²)で、上記1)の応力度より小さい。

- 3) 壁面端部の中央部開口(開口率8%)の場合

開口部周りの収縮応力度は120～190Kg/cm²(直角応力度15～80Kg/cm²)で同心円となるが、開口部のコーナー部から斜めに発生し、続いて開口部の中間位置で垂直に発生するものと思う。開口部四隅のひびわれは、八字型と逆八字型に発生するものといえる。

- 4) 壁面端部の上部開口(開口率8%)の場合

収縮応力度の大きさは、上記3)の場合とほぼ同じである。ひびわれは最初に開口部の上端でコーナー部から斜めに逆八字型に発生し、続いて下端のコーナー部から、さらに開口部の中間位置で垂直に発生するものと思う。

VI ひびわれ対策の適用

壁面の収縮ひびわれ対策は、上記Vの解析結果から

みて、つぎの方法が考えられる。

- a 収縮応力度の大きい箇所に低収縮用コンクリートを用いる。
- b 開口部のコーナー部及び壁の水平方向に補強筋を入れる。
- c 柱際の壁及びスパンの中央部に収縮目地を設ける。
- d 架構の拘束を緩和する。

今回は主応力度の大きい開口部のコーナー部を対象に、上記a～dに示すひびわれ対策から“b”を主体として実際の建物に適用した。

これは大野博士⁴⁾、向井博士⁵⁾の実験結果で指摘されているように、コンクリート構造物の収縮率が鉄筋の内部拘束によって低減することによっている。

(1) 対象とした建物の概要

- a 用途 倉庫 b 実験期間 昭47.2～48.6
- c 構造 RC造4F d 基準階床面積4000m²(延面積16000m²) e 外壁厚180mm f 壁配筋 D13-@200(ダブル)

(2) 開口部コーナーのひびわれ対策

1) 補強方法

- a リング筋による補強(写真1) 9φで直径450mmのリング筋を開口部コーナーから135度の方向に、長さ900mm(ピッチ100mm)とした。
- b 溶接金鋼による補強(写真2) 6φの@50mmを上記と同じ方法で配置した。

2) 鉄筋量

内部拘束の鉄筋量は、ひびわれ発生の限界収縮率 4×10^{-4} を確保するために1.12～1.26%とした。

(3) 実測結果

ひびわれ観察は、約16か月にわたって行ったところ開口部20箇所に対して漏水すると思われる壁面のひびわれ幅0.1mm以下のものが三本認められた。これより、今回採用した補強法は、ひびわれ防止として極めて効果のある方策であることがわかった。

VII まとめ

これらの応力解析及び実験結果から、以下のことが明らかとなった。

- a この解析方法は、コンクリート構造物の壁面の収縮応力度の大小とひびわれ発生の位置、方向ならびに形態を予測することができるものとする。

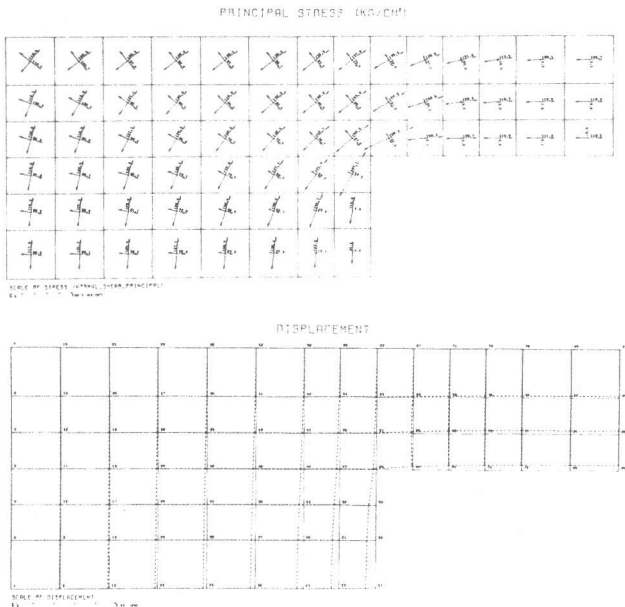


図5 開口率50%以下の壁面の応力度と変形量

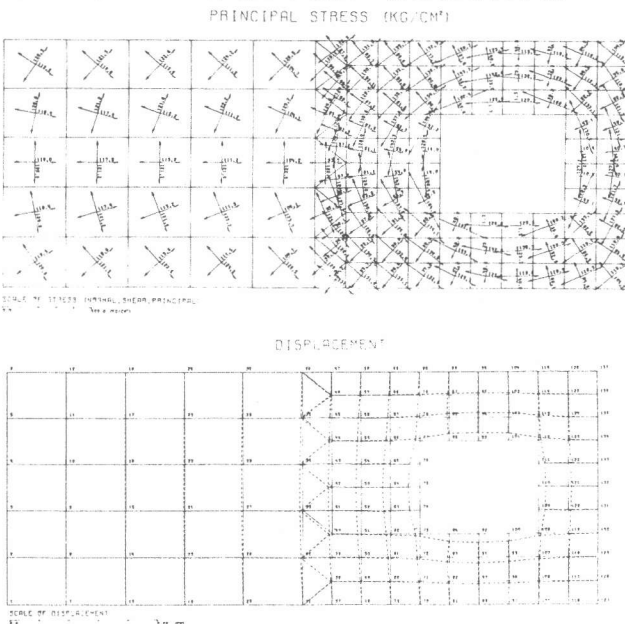


図7 端部の中央部開口（開口率8%）の応力度と変形量

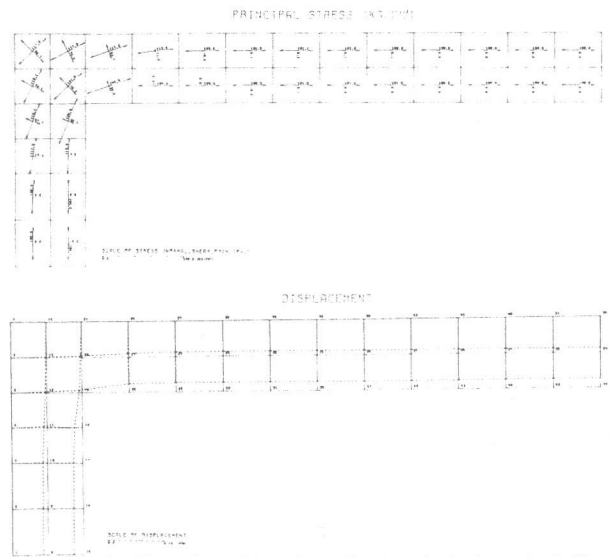


図6 開口率50%以上の壁面の応力度と変形量

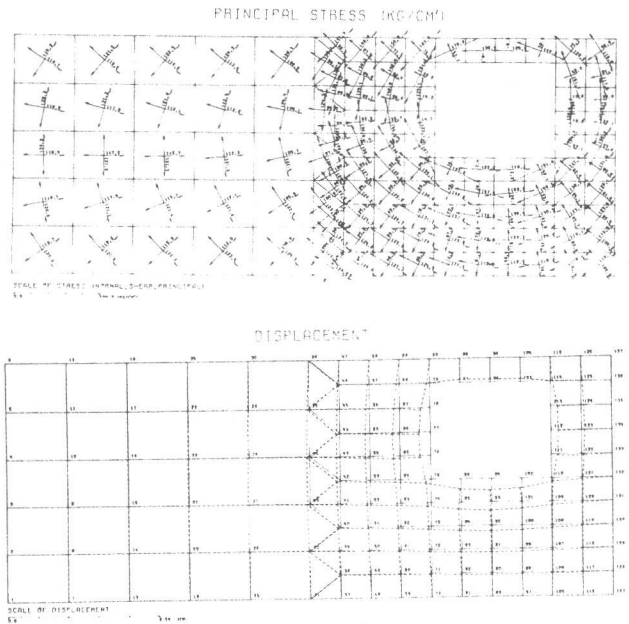


図8 端部の上部開口（開口率8%）の応力度と変形量

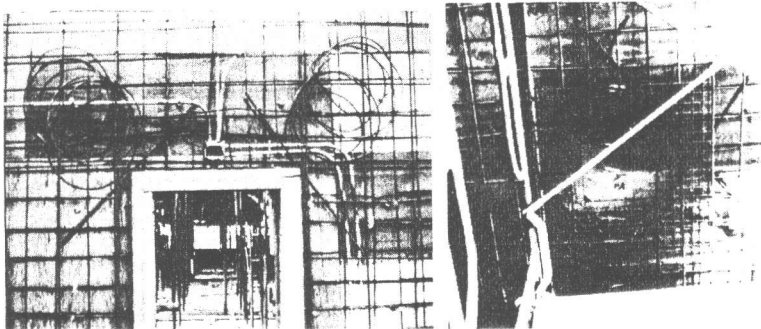


写真1 リング筋の補強

写真2 溶接金鋼の補強

b この方法で得られた収縮応力度の大きさは、終局時まで弾性範囲で解析したものであり、真の応力度より大きい値を示した。応力度の大小は、ひ

びわれ発生の危険度を示す指標として評価することができる。また、弾性解析の応力度を約1/3にすると、コンクリートの引張強度にほぼ近似すると推察される。

c 今回採用した開口部の補強法は、ひびわれ対策として十分活用できるものと考え

る。
 <参考文献> 1)河添, 他三名: 鹿島技研年報, 1973 2)堯天, 福住: 学会 関東支部, 昭45.9 3)角田, 横尾: 学会近畿支部, 昭31.2 4)大野, 柴田, 他四名: 学会北海道支部, 昭38.9 5)向井: 学会梗概集, 昭40.44 6)大野: 北大報告, 昭28.12