

誘発目地工法「カラム目地」の開発

小柳 光生 川口 徹
増田 安彦

Development of Joiner [COLUMN JOINER] Induced Shrinkage Cracks

Mitsuo Koyanagi Toru Kawaguchi
Yasuhiko Masuda

Abstract

Shrinkage cracks - in structural concrete walls are mainly caused by dry shrinkage deformation and outdoor thermal movement. A recommended method for controlling cracks is to build in joiner-induced cracks, so that cracks are induced in predetermined locations. This paper introduces crack-inducing new joiners. These joiners induce cracks at a high concentration ratio. They are also simple and inexpensive to construct, they are particularly suitable for shear walls. One type is made of plastic pipe filled with high strength mortar, Another type comprises a waterproof rubber bar along a pipe. Performance tests have been carried out to confirm their waterproofness and their earthquake-proofness.

概要

鉄筋コンクリート造外壁は、乾燥収縮や外気温変動による変形などによって収縮ひび割れが発生し易い。この収縮ひび割れ対策として、ひび割れを予め定めた位置に集中して発生させる誘発目地を設計段階で計画しておくことが推奨されている。今回、開発した誘発目地工法「カラム目地」は、ひび割れ集中度が高い上に、施工性に優れている。また安価で耐震壁にも使用できるという特長がある。空洞部にモルタルを充填した塩ビパイプで構成されており、表面に止水ゴム棒を張り付けた止水タイプもある。試験室での止水性・耐震性の確認および実構造物への適用を行い、その性能を確認した。

1. はじめに

外壁のひび割れは美観を損ねる他、耐久性を低下させるため、防止することが望ましい。しかしコンクリートの乾燥収縮や外気温変動に伴う変形は避けることが困難である。これらの収縮変形が拘束された場合、収縮応力が発生し、これがひび割れの原因となる。そのため、出来るだけ乾燥収縮を小さくするようなコンクリートの材料面、調合面の配慮が必要である。同時に予想されるひび割れに対して、有害なひび割れとしないための方法として、鉄筋を増やしてひび割れを分散する(ただしひび割れ本数は増加する)方法と予め定めた位置に目地を設け、ひび割れを誘発させる方法の二通りがある。

ここではひび割れを誘発させる方法について実用的な誘発目地工法「カラム目地」を開発したので紹介する。

2. 誘発目地の特長

2.1 従来の誘発目地工法との違い

従来の誘発目地工法では通常、表面から欠き込みを設けるため、欠き込みが浅ければ予定位置にひび割れが発生せず、欠き込みが深ければ目地材の取付など施工性に難点があった。その欠点をさけて、壁体の内部に断面欠損部を設置する「ヒビクター工法」を10数年前に開発し、既に多くの使用実績を積んできている。これはFig. 1に示すように塩ビパイプに止水ゴム(スパンソール)を巻き付けたもので、優れたひび割れ集中度と止水効果があるものの、全周に巻いた止水ゴムが高価であり、コストがかかる難点が

あった。

今回、紹介する誘発目地工法「カラム目地」はこれまでの性能は確保しつつコスト面の改良を行ったもので、耐震壁にも使用できるという特長がある。その目地の構成は、Fig. 2に示すように、空洞部にモルタルを充填した塩ビパイプの表面に止水ゴム棒を2本張り付けたタイプ(カラム目地)と止水ゴムを省略し、止水は外部シールで担保するタイプ(カラム目地)の2種類がある。

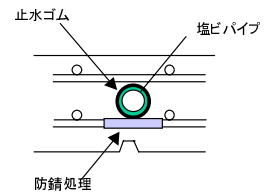


Fig. 1 ヒビクター工法 Method of HIBIKUTOR Joiner

2.2 目地の設置方法

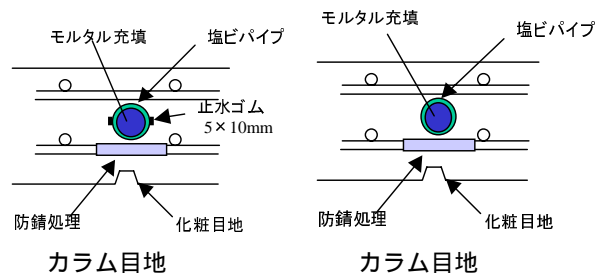


Fig. 2 カラム目地工法 Method of COLUMN Joiner

塩ビパイプ径は、壁厚の1/4～1/3となるように壁厚に応じてその大きさを選択する必要がある。施工方法は、壁配筋の時点で塩ビパイプ（市販品）を挿入し、所定の目地位置の横方向主筋（内筋または外筋）に番線で結束した後、打設前に高強度グラウトを空洞部に注ぎ込むことで完了する。なおカラム目地の場合には、化粧目地にシールを施す必要がある。いずれにしても、廉価で簡便な施工が可能となる。また、鉄筋を切断しない工法であるため、構造耐力の面でも支障ない。

3. 拘束ひび割れ漏水試験

3.1 実験内容

カラム目地の止水効果を確認するために、収縮ひび割れ試験用の拘束枠（Fig. 3参照）を用いて漏水試験を行った。被拘束体コンクリートの断面は、10cm × 10cmで、目地材の長さは拘束枠に合わせて10cmである。目地としては以下の4種類とした。なおc. モルタル円柱、d. モルタル矩形は塩ビ管を使用せず、棒状のモルタルにビニールテープを巻いて後打ちコンクリートとの付着を絶縁したもので、比較用に試験した。

- a. 外径47mmの塩ビ管 カラム目地
- b. 同上 カラム目地（止水ゴム無し）
- c. 外径40mmのモルタル円柱 カラム目地
- d. 40mm × 30mmのモルタル矩形 カラム目地

各要因とも2体ずつ、計8体の試験体を製作した。内部に鉄筋は使用しない。コンクリート調合をTable 1に示す。

3.2 ひび割れ状況と漏水試験結果

ひび割れ発生日数とひび割れ幅の動きをFig. 4に示す。ひび割れはいずれも目地位置に、材齢12日～19日に発生した。その後、ひび割れ幅は徐々に広がったが、他の位置にひび割れが入ることはなかった。漏水試験はPhoto 1に示すように、試験体を水平にして上面のひび割れを囲うように箱抜き仕切をして水を張り、3日間その状態としたままで下面からの漏水の有無を観察した。材齢56日に試験を行い、その試験結果をTable 2に示す。ひび割れが0.2mm程度に拡大した材齢56日の試験でも止水ゴムを貼り付けたa、c、dは目地材が絶縁されていても全く漏水しないことを確認した。

4. 耐震壁構造実験

4.1 実験内容

耐震壁の耐震性能を損なわないことを確認する目的で、1層1スパン耐震壁試験体の水平加力実験を行い、誘発目地の有無の違いが構造耐力に及ぼす影響を調べた。試験体としては、誘発目地を内蔵した耐震壁の他、目地無しと比較用耐震壁の合計2体とした。

試験体の形状をFig. 5に示す。試験体は誘発目地の有無を因子としたNo.1（目地有り）およびNo.2（目地無し：比較用）の合計2体である。形状は梁及び柱で囲まれた耐震壁から構成される。また壁体の内法寸法は長さ

Table 1 コンクリート調合
Concrete Mix Proportions

| W/C (%) | 単位水量 W | セメント C | 細骨材率 s/a (%) | 細骨材 S | (単位: kg/m ³) | |
|---------|-----------|-----------|-----------------|----------|--------------------------|---------------|
| | | | | | 粗骨材 G | ホソリス No.70 |
| 60 | 180 | 300 | 0.48 | 855 | 944 | 0.75 |

セメントは普通セメント。S、G比重: 2.60、2.65と設定

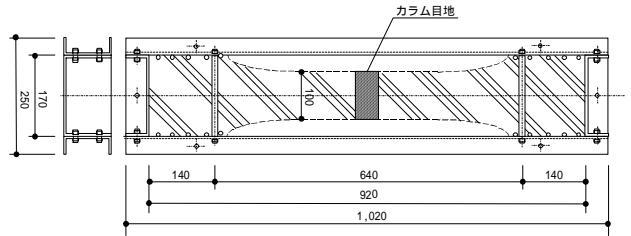


Fig. 3 ひび割れ拘束枠
Restriction Frame on Concrete Cracks

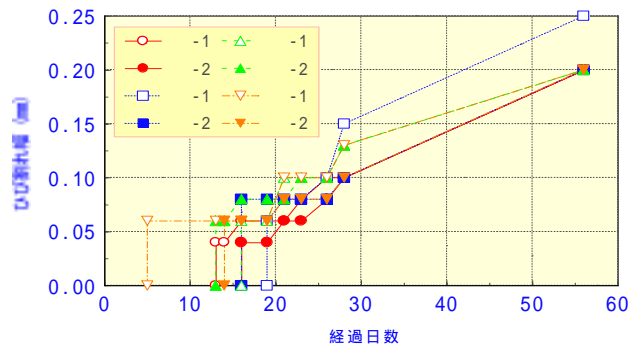


Fig. 4 ひび割れ発生後のひび割れ幅の動き
Crack Widths after Crack Occurred

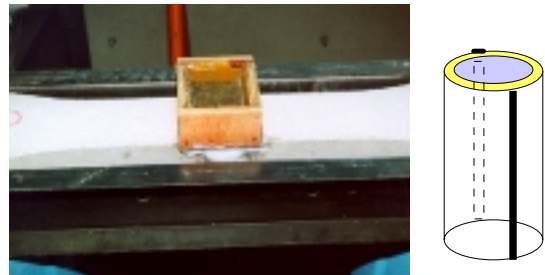


Photo 1 漏水試験の状況
Test on Leakage of Water

Table 2 漏水試験結果 (材齢56日)
Test Results on Leakage of Water

| | 1 | 2 | 試験体形状図 | |
|---------------|---|---|--------|--|
| a. カラム目地 | ○ | ○ | | |
| b. カラム目地 | × | × | | |
| c. カラム目地 (円柱) | ○ | ○ | | |
| d. カラム目地 (矩形) | ○ | ○ | | |

漏水無し...○・漏水有り...×

1,480mmで高さ900mm,壁厚7cmで配筋はD6-@150縦横シングルである。No.1試験体はFig. 5に示すように,柱の両サイドと中心位置の計3箇所へカラム目地(高さ900mm,外径26,内径20)を設置している。

加力方法は,左右の柱に一定軸力142KN(2.9N/mm²)を作用させ,水平力として梁端部を片押し方式で加力する正負繰り返し载荷とした。载荷履歴は部材角1/1000,1/500,1/250,1/200の順で耐震壁が破壊するまで载荷を行った。

コンクリートは生コンクリートを使用し,呼び強度24N/mm²,スランプ18cmとした。調査は,水セメント比:58.6%,単位水量180kg/m³,細骨材比47.8%である。圧縮強度試験結果をTable 3に示す。打込み方法は基礎部,壁・柱部および梁部の3回に分けて打設した。

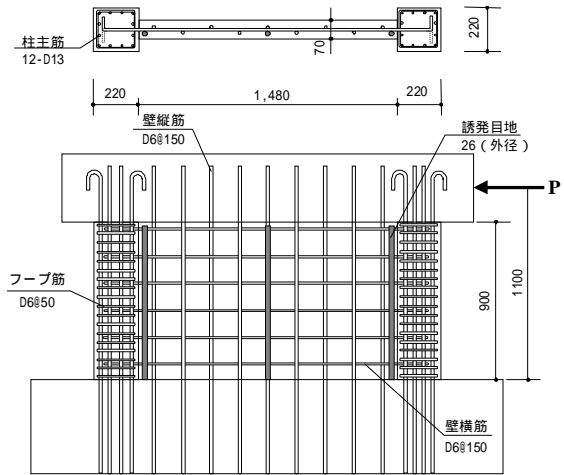


Fig. 5 耐震壁試験体の状況 (No.1) Structural Wall-Specimen Form (No.1)

4.2 実験結果

No.1試験体(目地有り)は,加力直前に観察したところ,壁中央の目地位置で既に収縮ひび割れが鉛直方向に発生していた。

No.1, No.2試験体の荷重 - 試験体水平変位関係を比較してFig. 6に示す。初期変形はNo.1, No.2とも良く一致していた。初せん断ひび割れ発生荷重はNo.1, No.2それぞれ313KN, 274KNであった。また最大荷重はそれぞれ819KN, 888KNでいずれもせん断破壊であった。この最大荷重比は1.08であり, No.1(目地有り)はNo.2(目地無し)とほぼ同等の耐力を示した。

破壊後のNo.1試験体のひび割れ状況をPhoto 2に示す。斜め方向のひび割れが多く発生している。

Table 3 コンクリート圧縮強度試験結果 Result of Concrete Compression Test

| 部材 | No.1試験体 | | No.2試験体 | |
|-----|---------------------------|---|---------------------------|---|
| | 圧縮強度 (N/mm ²) | 弾性係数 (10 ⁴ N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | 弾性係数 (10 ⁴ N/mm ²) |
| 基礎梁 | 31.4 | 2.8 | 31.8 | 2.8 |
| 壁・柱 | 29.5 | 2.78 | 29.9 | 2.79 |
| 上部梁 | 20.2 | 2.27 | 20.2 | 2.24 |

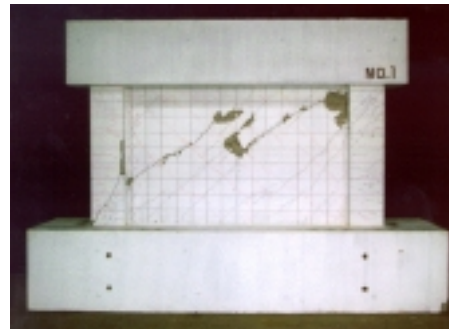


Photo 2 試験後のNo.1試験体のひび割れ状況 Crack of No.1 Specimen after Loading

4.3 せん断耐力計算結果との比較

せん断強度の略算式として広沢式を以下に示す。

$$Q_u = \{0.068p_{te}^{0.23}(F_c+180)/(\sqrt{M/(Q \cdot D)+0.12}) + 2.7 \frac{p_{wh} \cdot p_{wh}}{j} + 0.1 j b_e\} \cdot j \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots(1)$$

ここで

be: I形断面を長さで断面積が等しい等価長方形断面に置き換えた時の幅 (cm)

$$be = (2 \times 22^2 + 7 \times 148) / 192 = 10.4 \text{ cm}$$

D: 耐震壁の全長 (cm) D=192cm

j: 応力中心間距離 (7/8d) j=158cm

p_{te}: 等価引張鉄筋比

$$p_{te} = 100 \cdot a_l / (be \cdot d) = 100 \times 15.2 / (10.4 \times 181) = 0.810$$

p_{wh}: beを厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比

$$p_{wh} = a_w / (be \cdot S) = 0.32 / (10.4 \times 15) = 0.00205$$

wh: 水平せん断補強筋の材料強度 (kgf/cm²)

$$wh = 3470 \text{ kgf/cm}^2$$

o: 全断面積に対する平均軸方向応力度 (kgf/cm²)

$$o = 14.5 \times 10^3 \times 2 / (10.4 \times 192) = 14.5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$M / (Q \cdot D) = 110 / 192 = 0.573$$

以上を式に代入してQuを求める。

F_c=301の場合(目地有りの場合)

$$Q_u = (37.5 + 7.20 + 1.45) \times 10.4 \times 158 = 75800 \text{ kgf} (=743 \text{ KN})$$

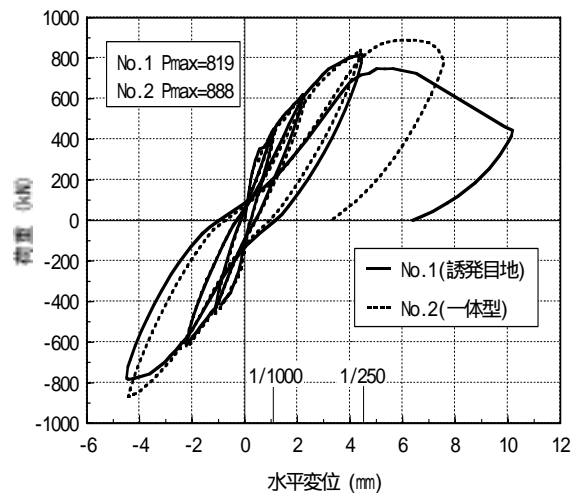


Fig. 6 荷重 - 水平変位関係 Load-Deflection Relationships

Fc=305の場合(目地無しの場合)同様に計算して
 $Q_u=751\text{KN}$

靱性保証型耐震設計指針式

「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針案・同解説」(日本建築学会)を用いて計算値を算出する。パラメータが複雑であるので細かい計算は省略し、結果をTable 4に示す。この諸元を上述の「靱性保証型指針」の(7.4.1)式(算定式を以下に表示)に代入し、 V_u を計算すると

$$V_u = t_w \cdot l_{wb} \cdot P_s \cdot \sigma_{sy} \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w \cdot l_{wa} \cdot \nu \sigma_B / 2$$

Fc=301 $V_u=73.7\text{tf} = 722\text{KN}$

Fc=305 $V_u=74.0\text{tf} = 725\text{KN}$

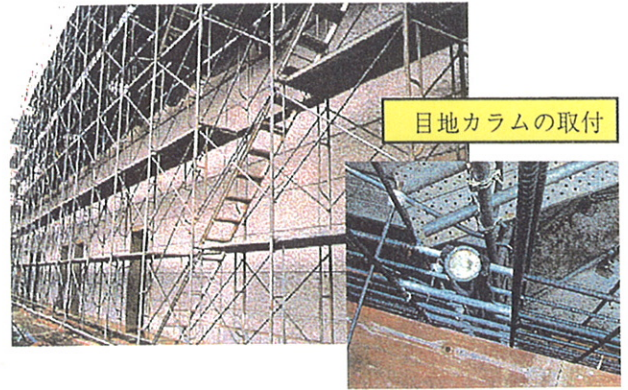


Photo 3 カラム目地工法を採用した建物外壁 Walls in the Building Applied COLUMN Joiner

Table 4 計算定数
Coefficient for Calculation

| | tw (cm) | lwb (cm) | psσsy (kgf/cm ²) | cotφ | tanθ | β | lwa (cm) | νσB (kgf/cm ²) |
|--------|------------|-------------|---------------------------------|------|------|-------|-------------|-------------------------------|
| Fc=301 | 7 | 192 | 10.6 | 1 | 0.59 | 0.128 | 200.1 | 165 |
| Fc=305 | 7 | 192 | 10.6 | 1 | 0.59 | 0.127 | 198.5 | 167 |

Table 5 実験値と計算値の比較
Comparison of Experimental Value and Calculation Value

| 名称 | 最大耐力① 実験値(KN) | 広沢式② 計算値(KN) | 靱性指針式 ③計算値(KN) | 実/計の比 ①/② | 実/計の比 ①/③ |
|------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------|--------------|
| No.1(目地有り) | 819 | 743 | 722 | 1.10 | 1.13 |
| No.2(目地無し) | 888 | 751 | 725 | 1.18 | 1.22 |

化粧目地へひび割れ誘発



Photo 4 目地へのひび割れ誘発
Induced Cracks along Joiners

耐力式(広沢式・靱性指針式)は実験値をやや安全側に評価することが知られており、両式の精度にも大差がないことが報告されている。実験値と計算値の比較をTable 5に示すが、誘発目地を有する耐震壁の実験値はそれぞれの耐力式による計算値をいずれも1割以上上回っており、十分なせん断耐力を有することを確認した。

以上、本誘発目地を設けた試験体は、目地のない比較用の試験体とひび割れ破壊状況、最大耐力などいずれも遜色無い結果を示しており、構造性能として支障ないことを確認した。

5. 実構造物への適用事例

某新築工事において以下の理由で鉄筋コンクリート造外壁(構造壁)の収縮ひび割れ発生による不具合が懸念された。

- ・建物規模が109.2m(8.4m×14スパン)×151.2m(8.4m×18スパン)と長大な壁面であること
- ・エキスパンションジョイントは無い
- ・モールドスター使用による化粧型枠打放し仕上げであり、ひび割れが発生すれば汚れが目立つなど美観を大きく損なうと判断されること

ひび割れ対策について1)ハーフCa化、2)コンクリート収縮低減剤の使用も含めて検討したが、コスト面で合わず、在来工法という枠の中で対応せざるを得なかった。

そこで別の解決策として、耐震壁に断面欠損のない誘発目地タイプを提案し、採用された。つまり化粧目地位置に誘発目地を約2.8mピッチに設置することで、化粧目地位置のひび割れ集中率を高めることを基本としている。

コンクリート打込み後、型枠を除去してひび割れを調査したところ、目地以外へも多少ひび割れが発生していたものの、誘発目地へのひび割れ発生率は95%以上の確率で、有害なひび割れ制御に高い効果があったと判断している。Photo 3とPhoto 4にそれぞれ外観状況と目地へのひび割れ誘発状況を示す。

現在の適用実績は新築建物3件(カラム目地Ⅰ:2件、カラム目地Ⅱ:1件)である。

6. まとめ

外壁のひび割れ制御法として、新たに誘発目地工法を開発した。本工法は施工の容易性、安価性そして高いひび割れ誘発度を有するとともに、耐震壁にも適用できる。今後、維持管理費軽減化などからひび割れ対策がますます要求される傾向にある。ひび割れ制御手法の一つとしてさらに普及、展開していきたい。

なお収縮ひび割れの発生を前提とする耐震壁の性能を確認するための実験を行ったが、今後、さらに多くのデータが蓄積されることが望ましい。