

論文

[1046] コンクリートの一軸拘束ひびわれ試験と壁試験体の収縮拘束ひびわれ性状

正会員 鈴木 計夫 (大阪大学工学部)

正会員○大野 義照 (大阪大学工学部)

三浦 義礼 ((株)大阪ガス)

1. まえがき

コンクリートの乾燥収縮ひびわれ抵抗性能の判定試験方法として、コンクリート試験体の拘束鋼材への固定方法を改良した一軸外部拘束型のひびわれ試験装置を提案した¹⁾。その後さらに検討されてJIS原案「コンクリートの乾燥収縮ひびわれ試験方法(案)」が作成された²⁾。本論文では、このひびわれ試験と拘束状態の異なる実構造物との対応を検討する目的で、拘束の程度およびコンクリートの収縮量を実験要因にとり、一軸拘束ひびわれ試験と縮小率1/2程度の壁モデル試験体の拘束ひびわれ試験を行い、両実験の特徴を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの調合

コンクリートは、普通ポルトランドセメント、山砂・海砂(各50%)、最大粒径20mmの碎石を用いたA, B 2種類のレディミクストコンクリートを使用した。表1にその調合表を示す。コンクリートBは乾燥収縮量をコンクリートAの70%程度に減じることを目標に収縮低減剤を混入した。拘束試験体と同じ条件下に置いたコンクリートの28日圧縮強度はA, Bそれぞれ307、248 kg/cm²であった。

2.2 試験体の種類、形状・寸法

a) 一軸拘束試験体

一軸拘束ひびわれ試験体は、図1に示すようにJIS原案の試験体に準じるものである。試験体の種類を表2に示す。拘束鋼材にはt=1.6, 2.3, 3.2mmの市販のリップみぞ形鋼(100×50×20)を用いた。表2に示す鋼材断面積は単位長さ当りの測定重量から算出した値である。試験体A*-9.5は、壁試験体と直接対応させるために、2側面を樹脂コーティング材でシールした。試験体の個数は各3体である。

乾燥収縮試験体(10×10×50cm)、およびクリープ試験体(10×10×50cm、持続圧縮応力: 40kg/cm²)もコンクリートA, Bについて、一軸拘束試験および壁拘束試験に対応させて、標準試験体(側面4面乾燥)と2面乾燥状態の試験体を作成した。

b) 壁試験体

壁試験体の形状・寸法を図2に示す(ただし配筋はA-1, B-1のもの)。その縮小率は

表1 コンクリートの調合

コンクリートの種類	W/C %	水 kg/m ³	セメント kg/m ³	砂 kg/m ³	砂利 kg/m ³	スランプ cm
コンクリートA	60	189	315	804	957	19
コンクリートB	67	206	308	787	936	22

コンクリートB: 収縮低減剤を使用

表2 一軸試験体の種類

試験体名	コンクリートの種類	鋼材断面積(cm ²)
A-6.6	A	6.62
A-9.5	A	9.52
A-12.3	A	12.28
A*-9.5	A	9.52
B-9.5	B	9.52
B-12.3	B	12.28

A*-9.5: 2側面に樹脂を塗布
試験体名の数字は鋼材比(%)を示す。

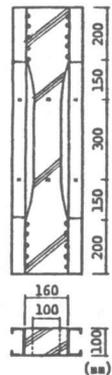


図1 一軸拘束ひびわれ試験体

約1/2である。試験体は表3に示すように拘束の程度とコンクリートの種類が異なる3体である。拘束大の試験体(A-1, B-1)の基礎ばり部は、基礎ばり自身のコンクリートの乾燥収縮を抑制して壁部の拘束を増すために樹脂コーティング材を塗布した。壁部は無筋で、その厚さは10cmである。周辺拘束部はD25を配筋した。なお、各部位の自由収縮量を調べるために、前述の壁以外の部位についても、同一断面形状で長さ100cmの無筋および有筋の乾燥収縮試験体を作成した。

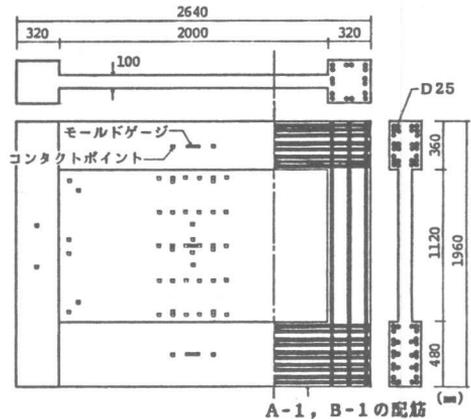


図2 壁試験体

2.3 実験方法

コンクリートの打設はコンクリートAとBとに分けて2回行った。打設後は湿布養生を行い、材令5日に脱型し乾燥を開始した。クリープ試験体の載荷は材令7日に行った。実験場所は実験室ピットで、試験期間中(コンクリート材令70日まで)の温度は13.5~16.0℃、相対湿度は40~65%であった。

コンクリートひずみの測定にはコンタクトストレインゲージ(検長10cm, 30cm)と埋込型ひずみ計(温度も測定可能)を用いた。一軸拘束ひびわれ試験の鋼材ひずみ測定には、ワイヤーストレインゲージとコンタクトストレインゲージ(検長30cm)を併用した。壁試験体のひずみ測定位置は図2中に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

3.1 一軸拘束ひびわれ試験

(a) 乾燥収縮ひずみおよびクリープ係数

断面10×10(cm)の試験体から求めた乾燥収縮ひずみおよびクリープ係数をそれぞれ図3および図4に示す。収縮低減剤を混入したコンクリートBの乾燥収縮ひずみはコンクリートAの約65%である。2側面をシールした場合の乾燥収縮ひずみは、コンクリートA, Bともシールしない場合の約60%である。クリープ係数も収縮低減剤の使用、および2側面のシールによって小さくなっている。

(b) 拘束試験体のひずみ

コンクリート試験体および拘束鋼材のひずみの経時変化を図5に示す。コンクリートの

表3 壁試験体の種類

試験体名	コンクリートの種類	鉄筋量(鉄筋比(%))			備考
		梁	柱	基礎梁	
A-1	A	28-D25 (15.7)	16-D25 (7.58)	30-D25 (12.6)	拘束の程度 大
A-2	A	16-D25 (8.98)	16-D25 (7.58)	24-D25 (10.1)	拘束の程度 小
B-1	B	28-D25 (15.7)	16-D25 (7.58)	30-D25 (12.6)	拘束の程度 大

コンクリートB: 収縮低減剤を使用

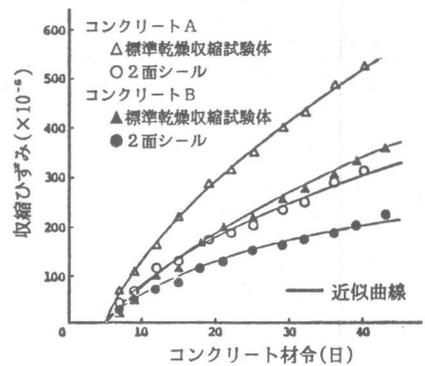


図3 乾燥収縮ひずみ(一軸拘束試験)

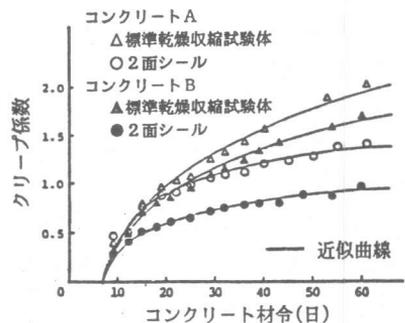


図4 クリープ係数(一軸拘束試験)

ひずみは鋼材のひずみより小さく、本試験法の1つのポイントであるコンクリート試験体への固定度はほぼ完全であると判断される。同図にはクリープ解析値¹⁾を曲線で示している。

(c) ひびわれ発生日

全試験体のひびわれ発生日(乾燥日数)を図6に示す。拘束鋼材比の影響についてみると、6.6%と9.5%の間では、ひびわれ発生日に顕著な差が認められるが、9.5%と12.3%の間では、明瞭な差がなくなっている。これは、収縮応力は鋼材比には比例せず、鋼材比が大きくなる程、収縮応力の増大傾向が鈍くなること³⁾による。

コンクリートの種類についてみると、鋼材比が9.5%の場合も、12.3%の場合もコンクリートBのひびわれ発生日が遅く、コンクリートの性質の違いがよく現れている。2側面をシールしたコンクリートA(試験体A*-9.5)のひびわれ発生日は、自由乾燥収縮量とクリープ係数がほぼ同じであるコンクリートB(B-9.5)とはほぼ同じである。

(d) 拘束ひずみおよびひびわれ発生日のコンクリート応力

図7に自由乾燥収縮ひずみから拘束コンクリート試験体のひずみを差し引いて求めた拘束ひずみの経時変化を示す。コンクリートの引張ひずみ能力を表すひびわれ発生日直前の拘束ひずみは、ひびわれ発生日の早いA-9.5, A-12.3は $120 \sim 200 \times 10^{-6}$ 、その他の試験体では $180 \sim 270 \times 10^{-6}$ 程度である。

図8にひびわれ発生前の鋼材のひずみから求めたコンクリート応力および割裂強度とコンクリート材令との関係を示す。コンクリート応力の割裂強度に対する割合は40%~60%である。

3.2 壁拘束ひびわれ試験

(a) 壁拘束試験体各部位の

自由乾燥収縮ひずみ

コンクリートAについて、標

準乾燥収縮試験体およびはり、柱、基礎ばりと同じ断面の無筋コンクリートの自由乾燥収縮ひずみを図9(a)に、A-1試験体各部位およびA-2試験体の基礎ばりの自由収縮

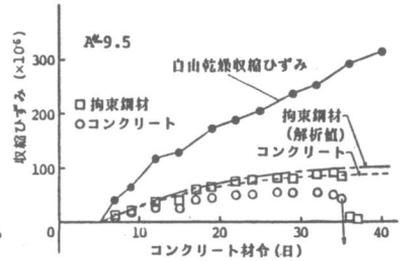
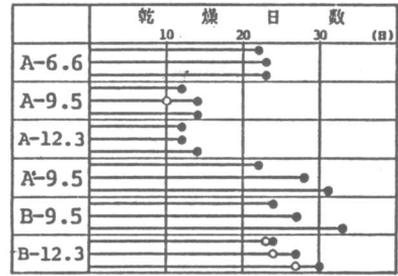


図5 一軸拘束ひびわれ試験体のひずみの経時変化



○ 初ひびわれ ● 貫通ひびわれ

図6 ひびわれ発生日

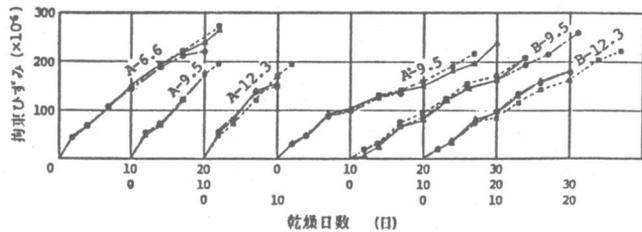


図7 拘束ひずみの経時変化

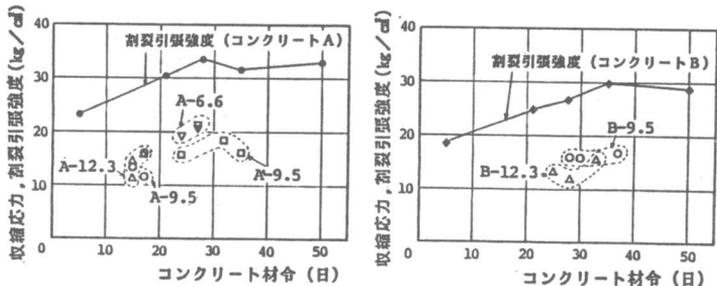


図8 コンクリート応力と割裂引張強度

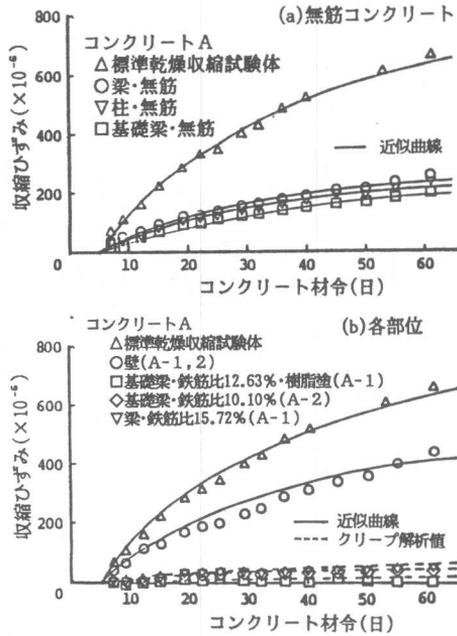


図9 壁試験体各部位の自由収縮ひずみ

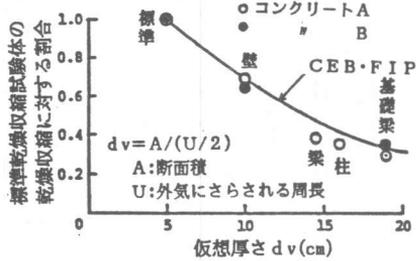


図10 乾燥収縮に及ぼす寸法効果

ひずみを図9(b)に示す。なお、コンクリートBの壁の乾燥収縮ひずみは図3中に示されている。断面寸法のコンクリートの乾燥収縮への影響は、CEB-FIPでは仮想厚さで捉えているが、乾燥日数56日における乾燥収縮を標準試験体(仮想厚さ5cm)の値を1として示すと図10のようになり、実験値はCEB-FIPの値⁴⁾とほぼ一致している。図9中の曲線は、無筋コンクリートにおいては実測値の近似曲線であり、有筋コンクリートにおいては対応する無筋コンクリートの近似曲線を用いたクリープ解析値である。

(b) 各部位のひずみ

梁、壁中央、基礎ばりのひずみの経時変化を図11に示す。壁の水平方向の収縮ひずみは、梁および基礎梁のひずみと同程度に拘束され、垂直方向にひびわれが生じた。垂直方向のひずみは殆ど拘束されず、ひびわれも生じていない。

図11の曲線は、各部位の無筋コンクリートの乾燥収縮の実験曲線を用いて、有限要素法によって求めたクリープ解析⁵⁾値であるが、全般に解析値が大きい。特にA-2においてその傾向が顕著である。これは1例として図12に示す検長10cmのコンタクトゲージによる

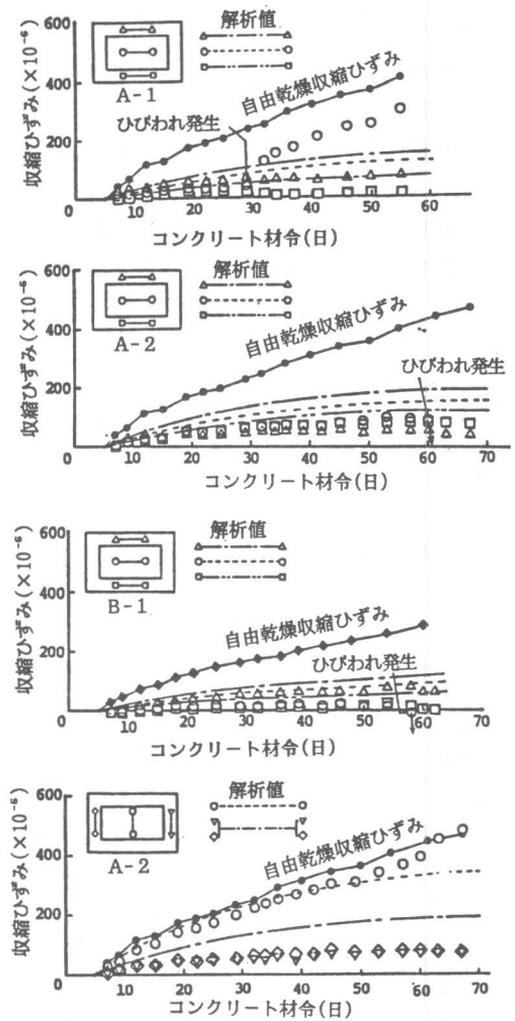


図11 壁試験体のひずみ

ひずみ測定値のバラツキからも分かるように、多くの微細なひびわれが生じ、後述のようにそのひびわれによって引張応力が緩和されたことによるものと考えられる。

(c) ひびわれ状況

壁部に生じた貫通ひびわれを図13に示す。図中の数値は乾燥日数70日におけるひびわれ幅(mm)、()内の数値はひびわれ発生までの乾燥日数である。

壁部における水平方向の応力は中央部で最も大きくなる⁵⁾ので、垂直のひびわれはどの試験体でもほぼ中央部に発生している。小型の壁試験体では、周辺拘束部材との一体性によって、垂直のひびわれは壁の中心付近に生じ、上下に進展した^{5), 6)}が、本実験の場合は試験体A-2においてその傾向が認められるもののA-1, B-1では、梁から基礎梁までほぼ同時期に垂直ひびわれが生じた。ただし、ひびわれ幅は中心部で広く、梁近くでは狭くなっている。

A-1, A-2では上部の隅角部に斜めひびわれが発生している。応力解析結果では、下部の隅角部の方が応力が大きいにも拘らず、上部にのみひびわれが生じているのは、コンクリートの打ち込み深さによる品質の変動によるものと考えられる⁷⁾。

(d) 拘束ひずみ

壁中央部水平方向の拘束ひずみの経時変化を図14に示す。試験体A-1のひびわれ発生日は、壁と対応するため側面をシールした一軸拘束試験体A*-9.5のひびわれ発生日とほぼ同じで、両者の拘束ひずみの経時変化もほぼ等しい。A-2のひびわれ発生日の拘束ひずみが大きいのは、前述のように微細なひびわれによって見掛け上大きくなったものと考えられる。

(e) 収縮応力(クリープ解析値)と

コンクリートの引張応力

収縮応力解析値の経時変化を図15に示す。前

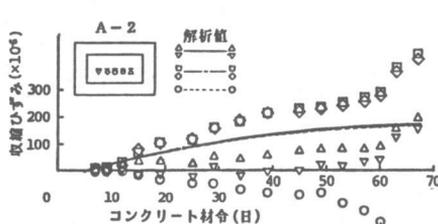
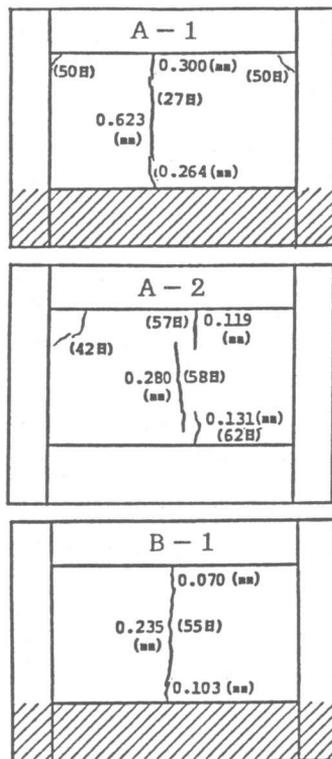


図12 壁体のひずみ分布(検長10cm)



図中の数値は乾燥日数70日におけるひびわれ幅。()内の数値ひびわれ発生までの乾燥日数。

図13 壁体のひびわれ状況

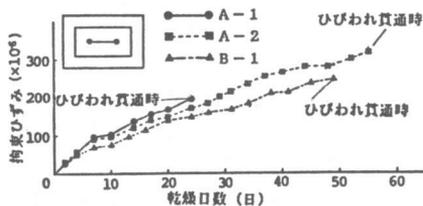


図14 拘束ひずみの経時変化(壁)

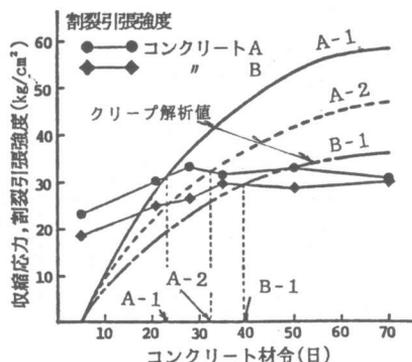


図15 コンクリート応力と割裂引張強度

述のように一軸拘束ひびわれ試験では割裂引張強度の約50%の応力でひびわれが生じた。その応力比を解析結果に適用するとA-2では材令12,13日でひびわれが生じることになるが、貫通ひびわれが生じたのは、収縮応力の解析値がコンクリートの割裂強度を大きく越えてからであった。しかし、図12の検長10cmで測定した水平方向のひずみの経時変化をみると材令12日前後から測定位置によってひずみに差が生じ、収縮から膨張に転じているところもあり、微細なひびわれが生じたものと判断される。ただし、試験体の幅が10cmの一軸試験体では、このような微細なひびわれは、直ちに貫通ひびわれにむすびつくが、壁試験体においては微細なひびわれは連続していないので、直ちには貫通ひびわれにはつながらず、むしろ応力緩和を生じさせ、貫通ひびわれの発生を遅らせたものと考えられる。

4. まとめ

一軸拘束ひびわれ試験と壁試験体の拘束ひびわれ試験の結果を比較してまとめると次のようになる。

- (1) 収縮量の異なるコンクリートの一軸と壁体の拘束ひびわれ試験におけるひびわれ発生時期は、よく対応していた(図6、図13)。
- (2) 一軸拘束ひびわれ試験では、収縮応力がコンクリートの割裂引張強度の50%程度になるとひびわれが生じた(図8)。壁拘束ひびわれ試験では、クリープ解析値である収縮応力が強度の50%程度で、微細なひびわれが生じたが、直ちには貫通ひびわれの発生につながらず、むしろ応力を緩和させ、貫通ひびわれの発生を遅らせた(図12、図15)。
- (3) 貫通ひびわれ発生時の拘束ひずみは、壁体では微細なひびわれによる見掛け上の増大によって、一軸試験体より大きくなる場合もあった(図7、図14)。

謝辞：本研究は本学卒業生藤本守彦君(現・神戸市役所)および本学技官中川隆夫氏の協力によって行ったものであり、記して謝意を表します。また本研究は文部省科学研究費補助金・総合A(代表者：鈴木計夫)の交付を受けた研究の一部として実施したものである。

参考文献

- 1) 鈴木計夫、大野義照、中川隆夫、太田寛：コンクリートの収縮拘束ひびわれ試験、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1981、PP.25~28
- 2) 仕入豊和、青柳征夫、川瀬清孝：コンクリートのひびわれ試験方法(案)、コンクリート工学、Vol.23, No.3, March 1985, PP.40~51
- 3) 鈴木計夫、大野義照、太田寛：コンクリートの乾燥収縮ひびわれと拘束の程度との関係について、セメント技術年報、36、昭和57年、PP.283~286
- 4) H.リュッシュ、D.ユンクビルト：コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮、百島祐信・訳 鹿島出版会
- 5) 鈴木計夫、大野義照、三浦義礼：プレストレスによるコンクリート壁体の収縮ひびわれ制御、日本建築学会近畿支部研究報告集、昭和61年5月、PP.25~28
- 6) 鈴木計夫、大野義照、三浦義礼：プレストレスによるコンクリート壁体の収縮ひびわれ制御、その2.プレストレス量と収縮応力、日本建築学会近畿支部研究報告集、昭和62年5月、PP.29~32
- 7) たとえば、毛見虎雄、平賀友晃、倉林清、荒巻哲生：壁・床版コンクリートの充てん性と部材の強度分布について、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和53年9月、PP.233~234