

鉄筋等の拘束力下におけるアルカリ骨材反応に関する研究

An Experimental Study on Alkali-Aggregate Reaction under Axial and Confined Stress

西山 直洋* Naohiro Nishiyama
 小島 雅樹** Masaki Kojima
 宮下 剛士*** Takeshi Miyashita
 和田 高清**** Takakiyo Wada

要 約

本実験は標題に関する影響を確認するために、各種拘束条件や反応による膨張条件を変化させた柱部材を想定した試験体を作製して、屋外自然暴露試験によりその影響を確認するものである。

なお、本実験は10年の暴露を予定しており、本報告はその中間報告である。現在までの結果では当初の予想通り、拘束力がひび割れ発生に大きく関与していることが確認されている。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験概要
- § 3. 実験方法
- § 4. 測定項目および測定方法
- § 5. 試験結果および考察
- § 6. まとめ
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物のひび割れは、拘束力の少ない部分に比較的発生しやすく、特に無筋コンクリート構造物に多く発生すると言われている。一方、鉄筋コンクリート造のような鉄筋や荷重などの拘束力が作用した構造物のアルカリ骨材反応は、複雑な劣化過程をたどることが予想されるが、これらに関する既往の研究は既存の建物の調査研究にとどまり、実験

的な研究は実構造物の拘束条件を再現することの難しさから、きわめて少ないのが現状である。

このため、本実験では反応性骨材を使用した実大の柱断面に相当する大きさの試験体に拘束力を加え、屋外暴露によりひび割れを発生させ、拘束度、アルカリ量、コンクリート強度、かぶり厚さ等の要因について、ひび割れの発生状況の確認を行ったもので、ここに実験の内容と成果を報告する。

§ 2. 実験概要

実験の要因と水準を Table 1 に示す。

試験体の組合せは Table 2 に示すように20体とし、A-3, 4を基本試験体とした。コンクリートは粗骨材に反応性骨材を使用し、セメントは高アルカリセメントとアルカリ試薬 (NaOH, NaCl, NaNO₃) によりアルカリ量を調整したものをを用いた。

試験体は実大の柱部材を想定し、軸力はPC鋼棒で締め付けることにより行った。

屋外暴露は(材令4週経過後)各試験体が同一環境条件になるように実施した (Photo 1 参照)。

§ 3. 実験方法

*技術研究所建築技術課係長
 **技術研究所先端技術研究課副課長
 ***技術研究所原子力課係長
 ****技術研究所建築技術課

3-1 使用材料

コンクリート：使用材料は Table 3 に示す。
 鉄筋：SD30-D10, D13, D19
 PC 鋼棒：φ32-C種・1号 (110/125)

3-2 コンクリートの調合

コンクリートの調合は Table 4 に示すように水セメント比を 50, 60, 70%の3種類、また、アルカリ総量を 6, 7, 8 kg/m³の3種類とし、基本調合は水セメント比 60%, アルカリ総量 8 kg/m³として計画を行った。

Table 1 実験要因と水準

要因	水準
A. 軸方向拘束力 (PC鋼棒による)	自由膨張, 0 kg/cm ² (膨張力の拘束) 15kg/cm ² (プレストレス), 30kg/cm ² (同左)
B. 帯筋による拘束力	無筋, D10-300@, 150@, 75@ D13-300@, 150@, 75@
C. 主筋による拘束力	無筋, 6-D19
D. 水セメント比	50%, 60%, 70%
E. アルカリ総量	6 kg/m ³ , 7 kg/m ³ , 8 kg/m ³
F. 被り厚さ	無筋, 30mm, 60mm
G. 表面仕様	打放し, モルタル塗

Table 3 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (Na ₂ O 等価量0.97%)
細骨材	鬼怒川産川砂 (非反応性)
粗骨材	反応性骨材 非反応性骨材 (鬼怒川産)
練り混ぜ水	イオン交換蒸留水
混和剤	A E減水剤
添加アルカリ	水酸化ナトリウム (NaOH) 塩化ナトリウム (NaCl) 亜硝酸ナトリウム (NaNO ₂)

Table 2 試験体詳細

要因 水準 ケース	軸力 (kg/cm ²)				帯筋量						水セメント比 (%)			アルカリ総量 (kg/m ³)			被り厚 (mm)			表面仕様		
	拘無	0	15	30	無筋	D13			D10			50	60	70	6	7	8	無筋	30	60	打放し	モルタル
						@75	@150	@300	@75	@150	@300											
A-1	○						○						○			○		○		○		
A-2		○					○						○			○		○		○		
A-3			○				○						○			○		○		○		
A-4			○				○						○			○		○		○		
A-5				○			○						○			○		○		○		
B-6			○		○								○			○	○			○		
B-7			○			○							○			○		○		○		
B-8			○					○					○			○		○		○		
B-9			○						○				○			○		○		○		
B-10			○							○			○			○		○		○		
B-11			○								○		○			○		○		○		
C-12			○				○					○				○		○		○		
C-13			○				○						○			○		○		○		
D-14	○						○						○		○		○		○		○	
D-15	○						○						○			○		○		○		
E-16			○				○						○			○		○		○		
F-17			○		○								○			○		○		○	○	
F-18			○			○							○			○		○		○	○	
F-19			○				○						○			○		○		○	○	
F-20			○					○					○			○		○		○	○	

尚, A-3, A-4は基本試験体とする。

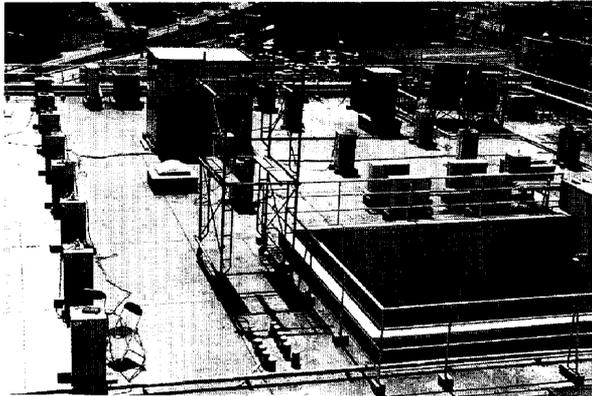


Photo 1 暴露状況

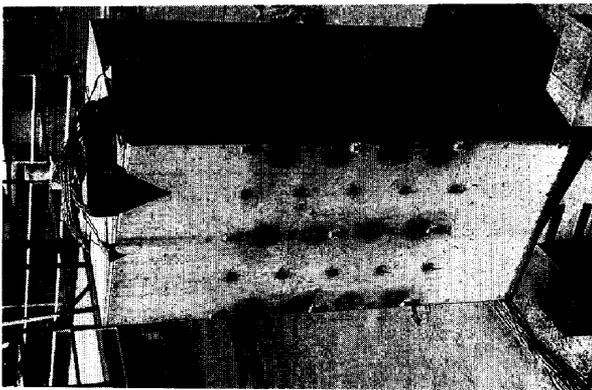


Photo 2 供試体

Table 4 コンクリートの調合

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材量 (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)			混和剤量 (g/m ³)
					セメント	細骨材	粗骨材	
50	18	4	44.4	180	360	764	309 657	32.4
60	18	4	46.0	180	300	813	309 657	21.0
70	18	4	47.1	180	257	849	309 657	18.0

3-3 試験体

基本試験体の形状、配筋、ひずみゲージ貼付位置を Fig.1 に示す (Photo 2 参照)。

試験体中央には貫通孔を設け、上下に載荷板をセットし PC 鋼棒で締め付けた。

なお、軸力のコントロールは PC 鋼棒に貼り付けたひずみゲージにより行った。

§ 4 . 測定項目および測定方法

測定は鉄筋および PC 鋼棒の応力、長さ変化、ひび割れ本数および幅、超音波速度について行った。

1) 応力測定は、Fig.1 に示すように主筋 6ヶ所、中央帯筋 4ヶ所、PC 鋼棒 1ヶ所、計 11ヶ所について行った。

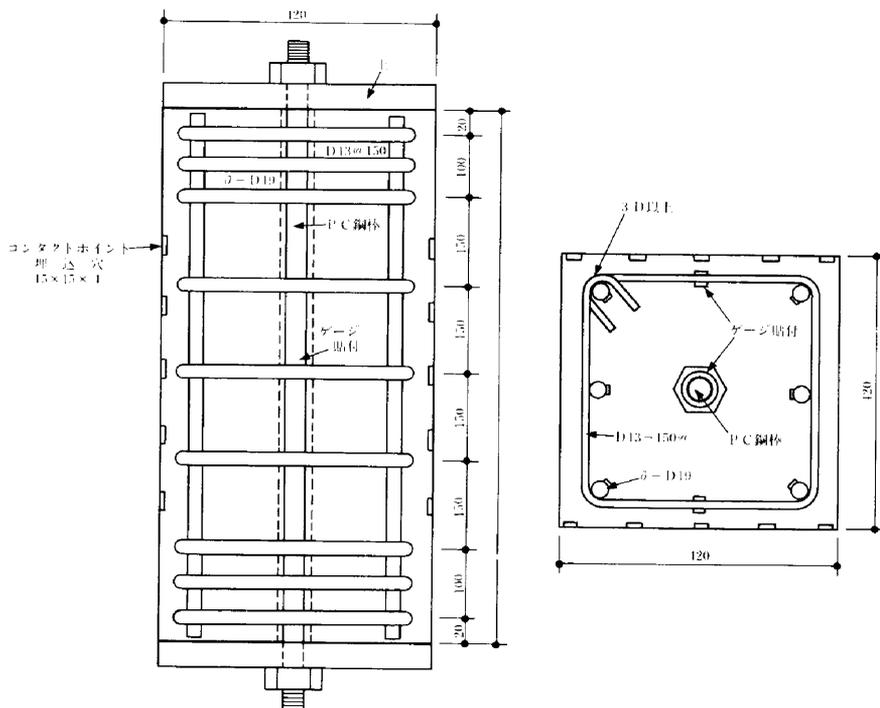


Fig.1 標準試験体断面図

2) 試験体の長さ変化測定は、試験体南面、北面において10cmメッシュの交点にコンタクトポイントを埋めこんで標点とし、コンタクトゲージ法により行った。

また、柱幅および高さ方向全体についての長さ変化も併せて測定を行った (Fig.2 参照)。

3) ひび割れ本数および幅の測定は、試験体東面、西面において10cmメッシュに線を引いてその線上にあるひび割れについて行った (Fig.3 参照)。

4) 超音波伝播時間の測定は、Fig.4 に示す位置でイ面とロ面に端子を密着させ、この間の伝播時間の測定を行った。

§ 5 . 試験結果および考察

5-1 ひび割れ発生時期および状況

暴露開始時期が冬季であり、その後5ヶ月間ひび割れ発生は確認できなかった。

ひび割れの発生が確認されたのは25週経過した7月末で、全供試体ともほぼ同時期に発生した。

これらの原因として、実験を開始した2月は低温乾燥の時期でありアルカリ骨材反応のための環境条件が整わず、その後5~6月にかけて高温多湿となり、急激に膨張したため各要因の差の確認が難しかったものと考えられる。

ひび割れ発生状況は、縦軸方向に対し中央部と上下端部で差があり、ひび割れ発生が多かったのは中央部、上

部、下部の順となった。これは上下端部の帯筋が中央に比べ2倍の鉄筋量が挿入されていること、また、下部には供試体自体の自重がかかっていることなどの影響によるものと考えられる。

これらの状況からも、拘束力がひび割れ発生に深く関与していることがうかがえる。

なお、代表的なひび割れ発生状況を Fig.3 および Fig.5 に示す。

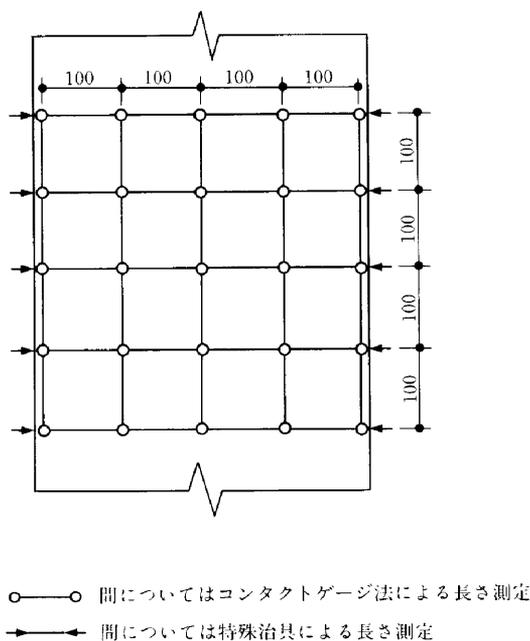


Fig.2 測定位置

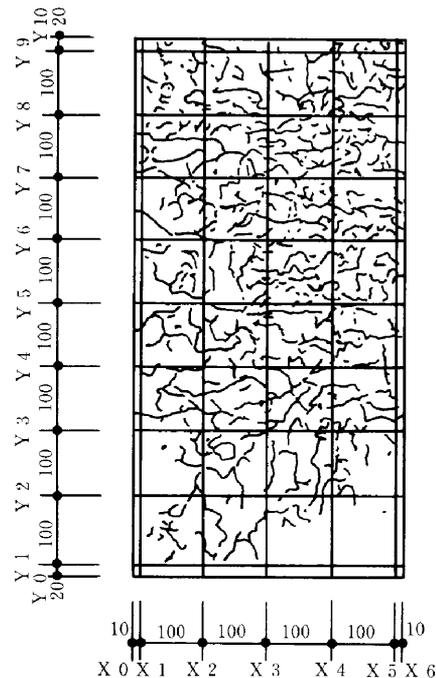


Fig.3 ひび割れ測定位置

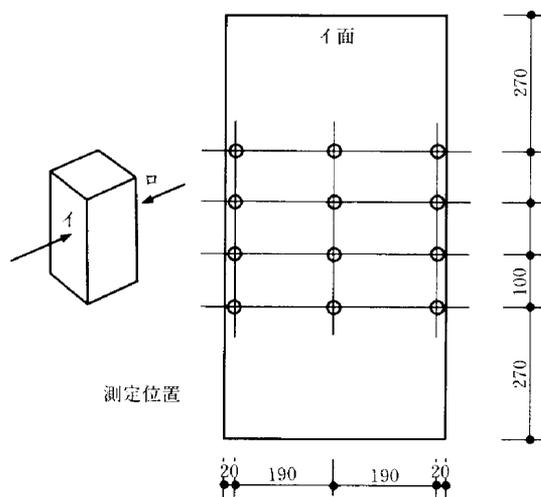


Fig.4 超音波測定位置

5-2 拘束力とひび割れの関係

鉄筋およびPC鋼棒にひずみゲージを貼り付け、応力の測定を行った。測定結果を Fig.6 に示す。

図は全ゲージについての経時変化に対するひずみを示しているが、概ね応力の発生状況がわかる。

なお、ゲージは焼付により貼り付けてあるが1年の長期にわたって暴露を行った結果、全体の1/3程度のゲージ不良が確認されている。

応力については5ヶ月目あたりから急激な変化を示し、ひび割れ発生後は比較的变化が少なくなっている。

1) 軸力とひび割れの関係

軸力の異なる供試体のひび割れ本数、幅の測定結果を Fig.7 に示す。

ひび割れ本数は無拘束の試験体に顕著に発生しているが、その他の試験体についてははっきりした差は認められない。また、ひび割れ幅についても0.1mm以上のものが無拘束の試験体に多く発生している。

2) 帯筋量とひび割れの関係

帯筋量の異なる供試体のひび割れ本数、幅の測定を行った。結果を Fig.8 に示す。

ひび割れ本数は拘束の大きい75mmピッチの試験体に多く発生し、他の試験体にはその差が認められない。また、75mmピッチの試験体のひび割れ幅は0.05mm以下のものが多く見られ、ひび割れの分散傾向が現れている。

全体的には帯筋量の少ない試験体ほど、ひび割れ幅が大きくなる傾向が認められる。

5-3 アルカリ総量とひび割れの関係

配筋・軸力ともに同一の試験体について検討を行った。

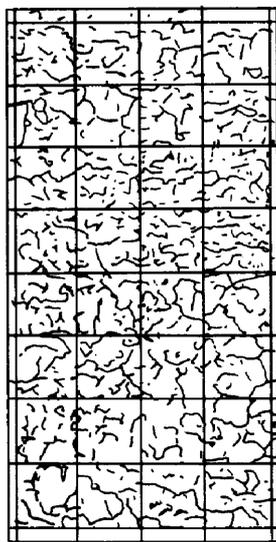


Fig.5 標準試験体

結果を Fig.9 に示す。

ひび割れ本数については7kg/m³の試験体が少なく、他の2試験体はほぼ同じような本数となっているが、アルカリ総量の多い試験体ほど幅の大きいひび割れが発生する傾向が認められる。今回の試験では通常のコンクリートのアルカリ量と比べ2倍程度の増となっており、この

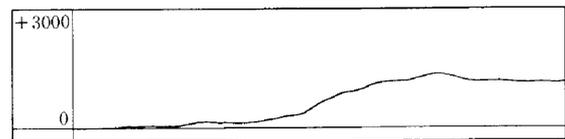


Fig.6 全応力の経時変化(13ヵ月)

ように多量に混入された場合には、実際に差が出るものか、また、ある量からはあまり差が出ないものなのか、今回までのデータでは判断が難しく長期的な観察が必要かと考える。

5-4 水セメント比とひび割れの関係

標準試験体で水セメント比を50%、60%、70%の3種類について行った。

結果を Fig.10 に示す。

ひび割れ本数は、50%、60%、70%の順に少なくなっており、ひび割れ幅については微細ひび割れが順に少なくなっている。

これは帯筋の鉄筋量と同様にコンクリート強度が上がるにしたがい、拘束力も増加しひび割れ分散傾向が現れたものと考えられる。

5-5 かぶり厚さとひび割れの関係

標準試験体のものについてかぶり厚さを30、60mmの2水準において比較した。結果を Fig.11 に示す。

2供試体のみで行ったが、かぶり厚さの大きい試験体のほうが本数、幅ともにひび割れが多く認められた。これは無拘束部分が多くなったことによるものと考えられる。

5-6 長さ変化

長さ変化の経時測定は、ひび割れ発生時期、その後の成長などを確認できる重要なデータとなる。

今回軸力に対する長さ変化(縦方向長さ変化)は、PC鋼棒の緊張および試験体自重等の問題などによりデータがばらばらしていることから、長期的に測定を行い、その結果を見て判断したい。(実構造物については最も拘束を受ける要因となる。)

本報告では横方向について述べる。

標点位置および長さ変化測定箇所を Fig.12 に示す。

各要因に対する経時変化を Fig.13~16 に示す。

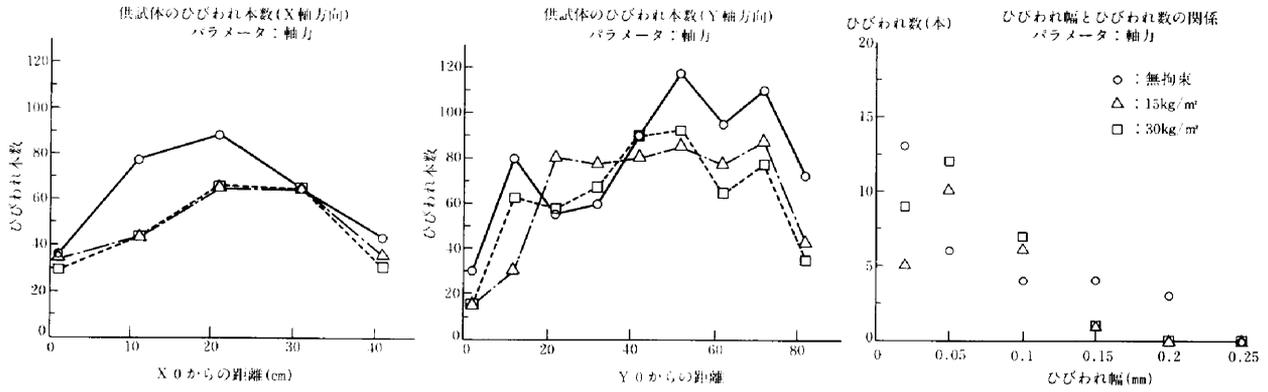


Fig.7 ひびわれ発生本数(パラメータ:軸力)

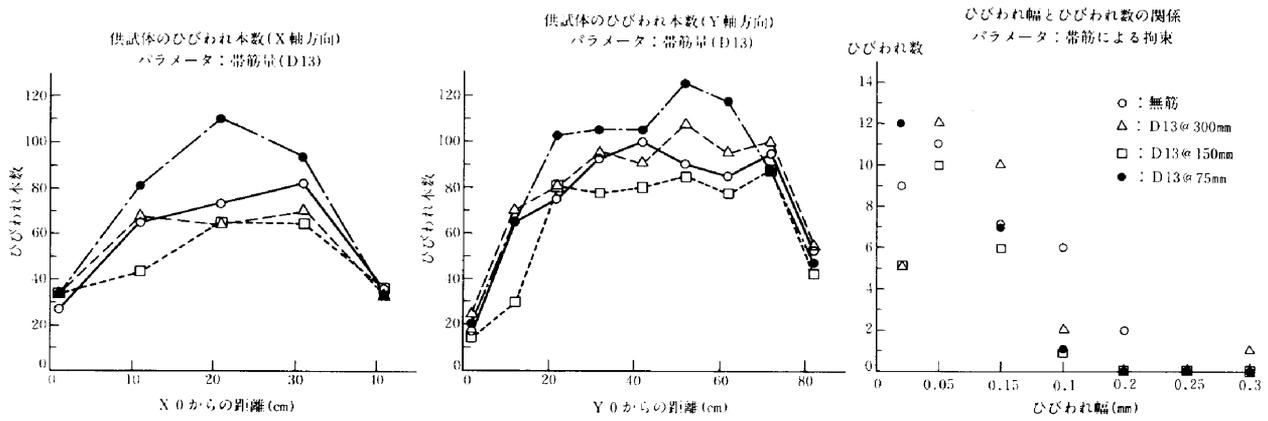


Fig.8 ひびわれ発生本数(パラメータ:帯筋量)

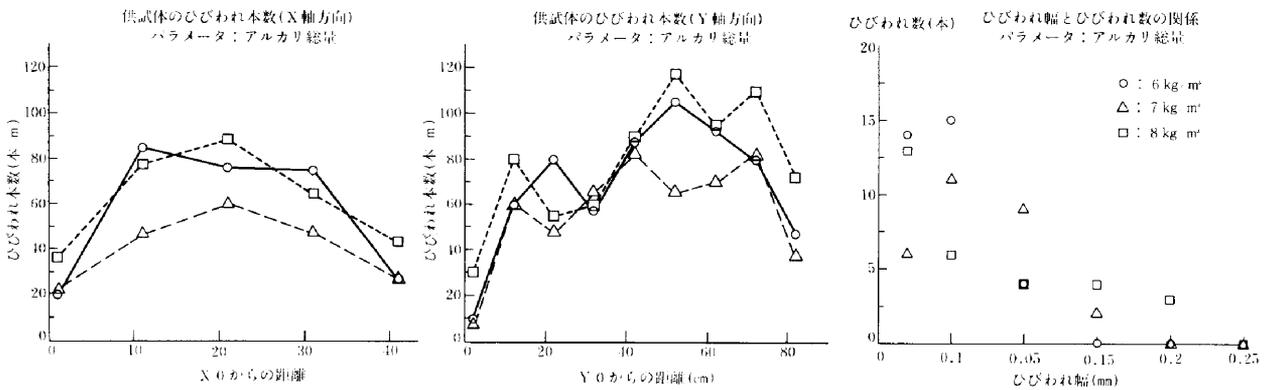


Fig.9 ひびわれ発生本数(パラメータ:アルカリ総量)

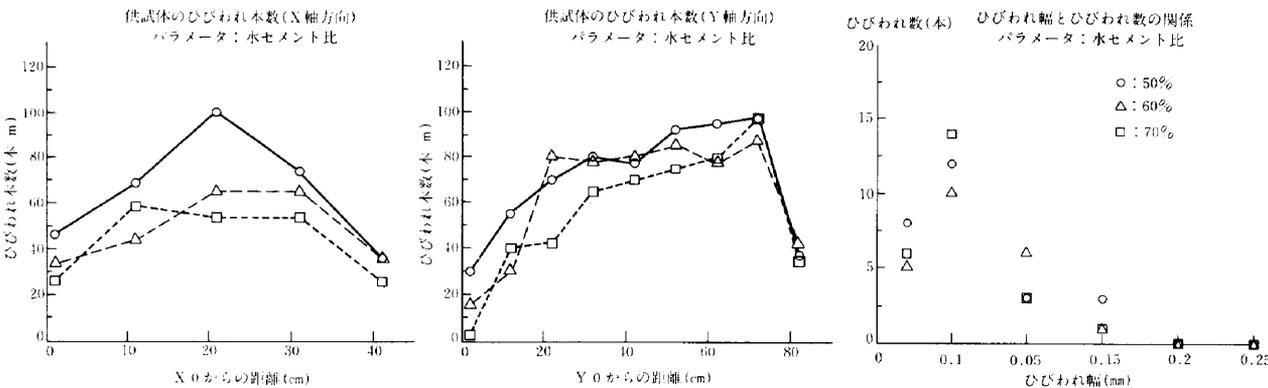


Fig.10 ひびわれ発生本数(パラメータ:水セメント比)

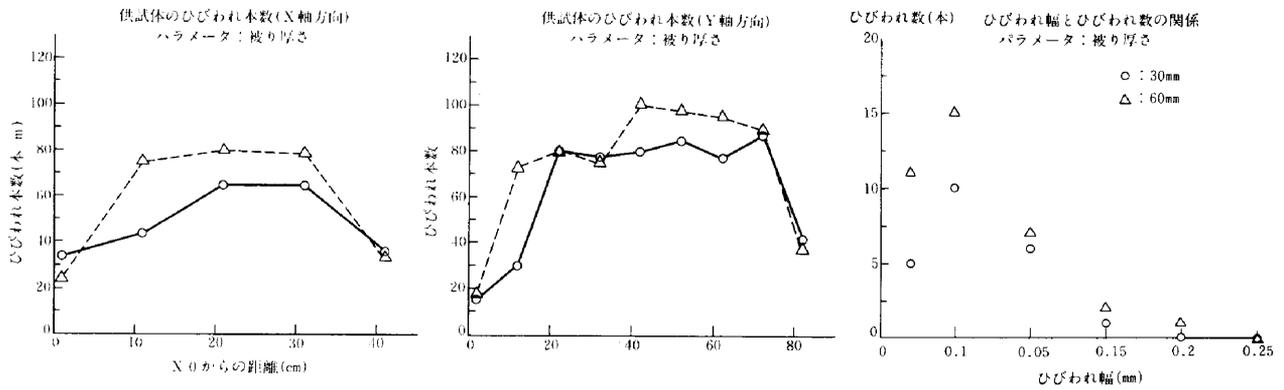
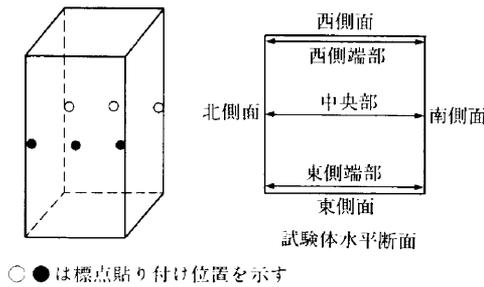


Fig.11 ひびわれ発生本数(パラメータ：かぶり厚さ)
注) 幅が0.05mm以下のひびわれは0.02mmとした。



○●は標点貼り付け位置を示す

Fig.12 標点位置および長さ変化測定箇所

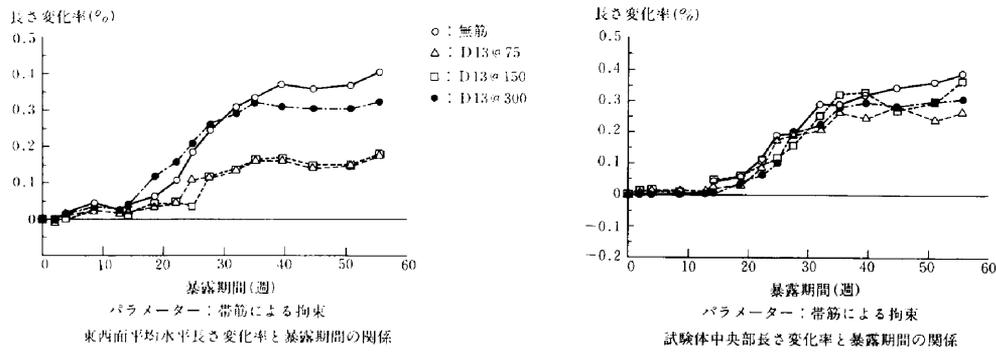


Fig.13 長さ変化率の経時変化(パラメータ：帯筋量)

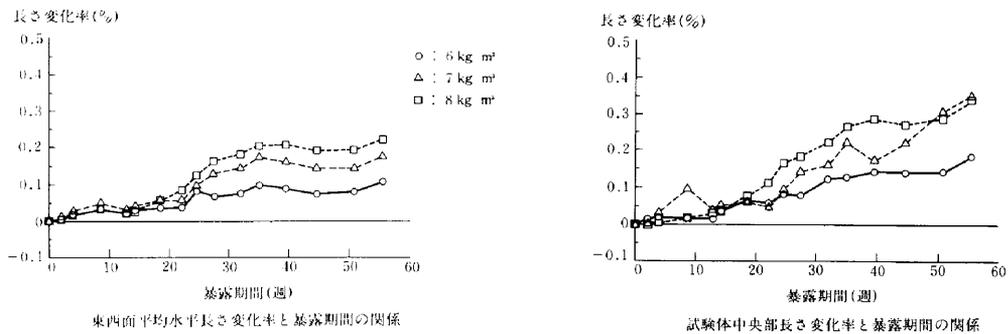
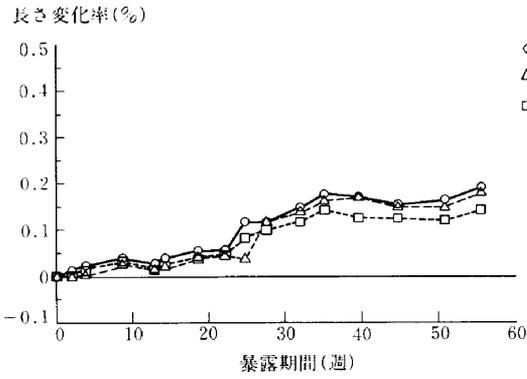
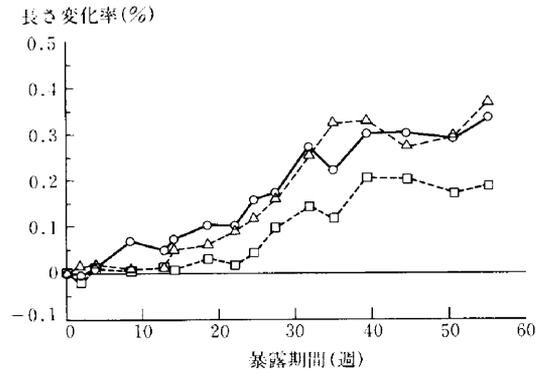


Fig.14 長さ変化率の経時変化(パラメータ：アルカリ総量)

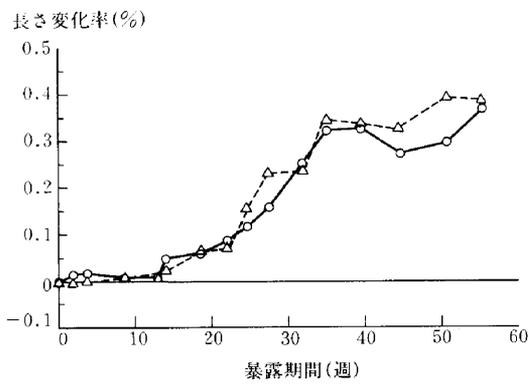


東西面平均水平長さ変化率と暴露期間の関係

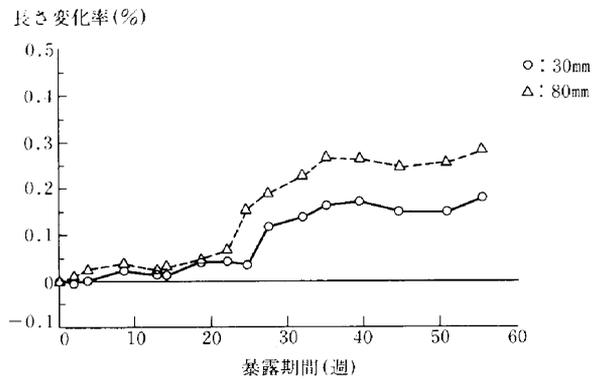


試験体中央部長さ変化率と暴露期間の関係

Fig.15 長さ変化率の経時変化(パラメータ：水セメント比)



試験体中央部長さ変化率と暴露期間の関係



東西面平均水平長さ変化率と暴露期間の関係

Fig.16 長さ変化率の経時変化(パラメータ：かぶり厚さ)

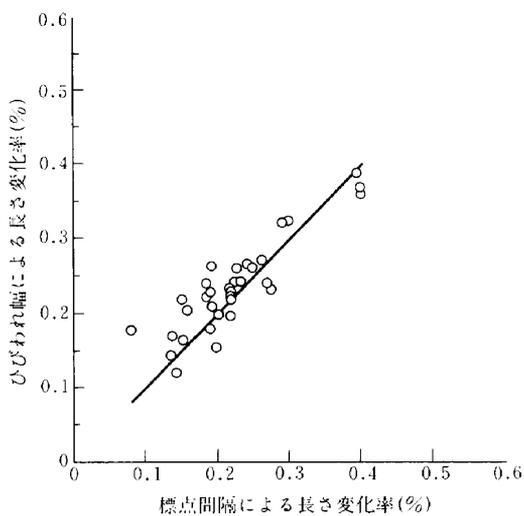


Fig.17 ひびわれによる長さ変化と測定値の関係

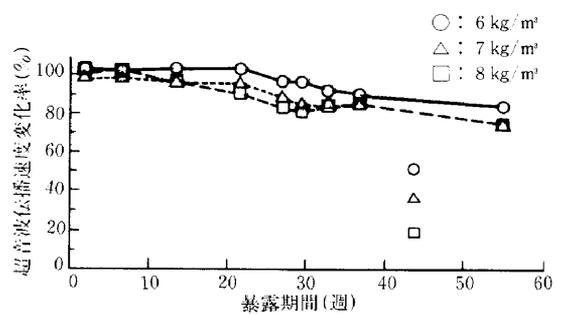


Fig.18 超音波速度変化率の経時変化

測定結果より以下の事項が確認された。

1) 帯筋量と長さ変化の関係

端部の水平膨張は、無筋ならびに帯筋量の少ない

帯筋ピッチ300mmの試験体に顕著に認められ、ピッチ150, 75mmの試験体には長さ変化はほとんど見られない。中央部の水平膨張は、無筋の試験体が最も大きく、他の試験体では顕著な差は認められない。

2) アルカリ総量と長さ変化の関係

アルカリ総量の多いものほど大きな膨張を示している。ただし、中央部については暴露期間50週以降、アルカリ総量 7 kg/m^3 と 8 kg/m^3 の膨張は同程度である。

3) 水セメント比と長さ変化の関係

水セメント比50%と60%ではほとんど同様な経時変化を示し、70%がもっとも膨張が小さい。この現象は中央部に顕著に現れている。

4) かぶり厚さと長さ変化の関係

かぶり厚さが大きいほど膨張する傾向を示している。この現象は中央部よりも端部に顕著に現れている。

5) ひび割れ幅による長さ変化率と標点間隔による長さ変化率の関係

Fig. 17 にひび割れ幅の合計を計測長で除した値と試験体表面標点間隔長の変化率の関係を示す。図に示すようにばらつきはあるが相関が認められる。このことは、ひび割れ幅の測定が比較的正確であったことを意味するもので、ひび割れ幅を求める場合は全体の長さ変化を代用することも可能であることを示している。

5-7 超音波速度

超音波速度測定の結果を Fig. 18 に示す。

今回はアルカリ量の違いについて比較を行っており、若干ではあるがアルカリ量の少ないものが超音波速度の低下率が小さい。これは言い換えればひび割れが少ないことの証明である。

現在60週で1~2割程度の低下率となっており、これまでの低下率速度と比べ比較的低下率が小さくなっている。これは内部のひび割れがあまり進んでいないことを示しており、拘束の影響が出ているものと考えられる。

§ 6. まとめ

本実験において以下の事項が確認された。

1) PC 鋼棒で軸力を導入した試験体は、無拘束に比べて表面のひび割れ発生量が少なく、また、発生したひび割れ幅も小さくなる傾向を示している。このことから、軸力導入により表面のひび割れ発生量および幅を拘束する効果があるといえよう。ただし、軸力の導入量を変えた 15 kg/cm^2 と 30 kg/cm^2 では、その

差は顕著には現れていない。

2) 拘束力が大きくなる帯筋の多い場合には、表面のひび割れ発生量は増加する傾向を示しているが、発生したひび割れの幅は小さくなる。帯筋による拘束は、ひび割れの発生を分散させる効果があると推察される。

3) アルカリ総量の違いによるひび割れの発生状況では、表面の発生量に有意な違いは確認できなかったが、アルカリ総量の多いものほど、比較的幅の大きいひび割れが多く発生する傾向を示している。

4) 水セメント比が小さいものほどひび割れ発生量が多いが、幅は小さくなる傾向を示している。

5) かぶり厚さの大きいものほどひび割れ発生量も多く、幅も大きくなる傾向を示している。

6) ひび割れ発生は軸方向において中央部と上下端部では明確な差があり、中央部に多く発生し、次に上端部に多い傾向を示した。

7) 軸方向の拘束力を変化させても表面の長さ変化には有意な差が認められない。

8) 帯筋量の多いほど長さ変化が小さくなる傾向が認められる。特に帯筋量の少ない試験体は、試験体端部で大きな膨張を示した。

9) アルカリ総量が多いほど長さ変化も大きくなる傾向が認められる。しかし、暴露40週以降ではアルカリ総量 7 kg/m^3 と 8 kg/m^3 の試験体で、長さ変化はほとんど変動しない。

10) ひび割れ幅の合計を伸び量とした場合の長さ変化率と試験体表面の標点間隔の測定による長さ変化率とは、ばらつきはあるが相関が認められる。このことから、ひび割れ幅を測定することにより、アルカリ骨材反応による長さ変化量のある程度推定できる。

11) 試験体の長さ変化は6~10月までの比較的外気温、湿度が高い時期に進行する傾向がある。

§ 7. おわりに

本研究は昭和62年7月より平成2年4月までの期間にわたり建設省建築研究所、西松建設㈱の共同研究“鉄筋コンクリートの劣化抑制、補修技術の開発”の一環として行ったもので、本実験は長さ変化、および、ひび割れ測定について、10年間の長期に亘り暴露試験を実施していく予定である。

最後に、建設省建築研究所の柘田室長、阿部室長の両氏には実験全般にわたり御指導いただきましたことを深く感謝致します。