

# 凍結融解作用をうけるコンクリートの劣化性状について\*

鮎田 耕一\*\*

(昭和51年4月30日受理)

## On the Deteriorative Properties of Concrete in Freezing-Thawing Action

by Koichi AYUTA

The purpose of this study is to investigate the mechanism of freezing and thawing deterioration in concrete. Concrete specimens having coarse aggregate samples or steel bars were used for this purpose.

The main conclusions were as follows: 1) The interval changes of the coarse aggregate samples increased with the increase of the diameter of the aggregates by freezing and thawing action. 2) The bond cracks between mortar and horizontal bars occurred more easily as compared with the vertical bars by the freeze-thaw action. It was found that mortar had many air voids as compared with concrete of the same water-cement ratio, from the microscopic determination of air-void content in hardened concrete and mortar.

### 1. ま え が き

コンクリート、モルタルあるいはセメントペーストは、凍結融解作用の繰り返しをうけることによって劣化し破壊する。しかしながら、これらに急速凍結融解作用を与えると、その劣化の性状にかなりの相違がみられる。図-1, 図-2, 図-3は、天然産の骨材を用いた場合の non AE コンクリート, AE コンクリート, モルタルおよびセメントペーストの劣化性状を、劣化指標としてダイヤルゲージによる長さ変化率, 相対動弾性係数, コンタクトゲージによる長さ変化率の3種類を用いて比較した結果であるが、いずれの劣化指標を用いた場合でも明らかのように、non AE コンクリートにくらべてAE コンクリート, モルタルの耐久性が極めて大きい。またセメントペーストは、non AE コンクリートより耐久性が小さく、その破壊はコンクリートのように劣化に伴う組織のゆるみによるものではなく、表面ひびわれの発生による剝離によって生ずるようである。この破壊形態の違いは、破壊時の長さ変化率が non AE コンクリートでは、 $10,000 \times 10^{-6}$  に近いのに対して、セメントペーストでは、わずか  $500 \times 10^{-6}$  程度

\* 第30回土木学会年次学術講演会にて発表

\*\* 北見工業大学土木工学科

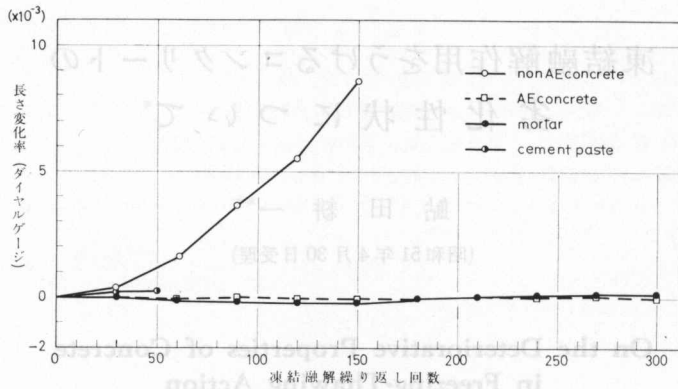


図-1 ダイヤルゲージによる長さ変化率

Fig. 1. Change of length by dial gage.

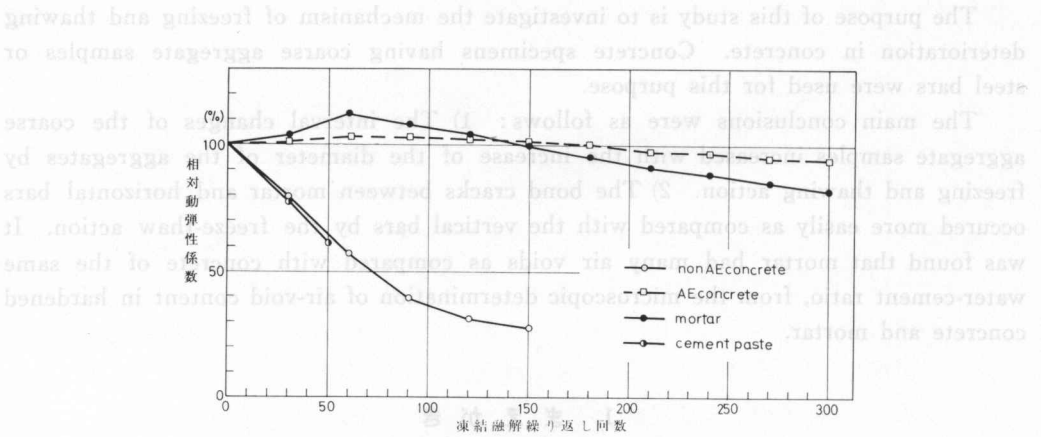


図-2 相対動弾性係数の変化

Fig. 2. Change of relative dynamic modulus of elasticity.

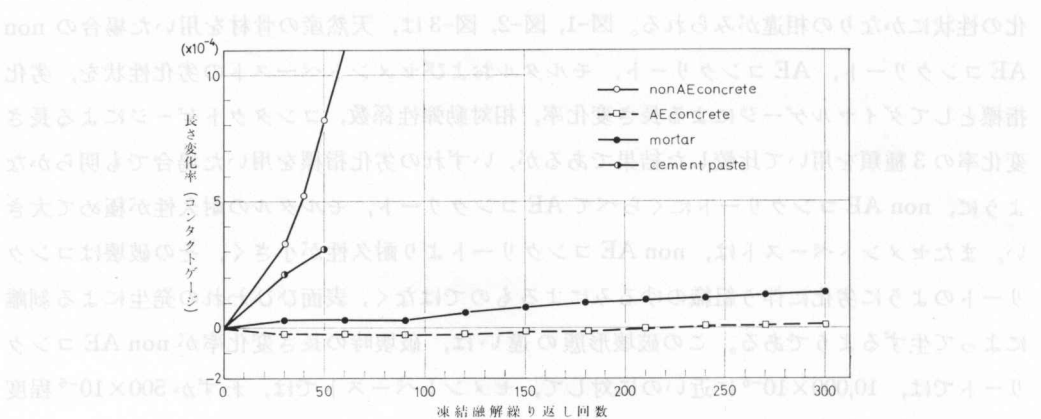


図-3 コンタクトゲージによる長さ変化率

Fig. 3. Change of length by contact gage.

であることから推定できる。一方モルタルは試験開始時より50サイクルすぎまで動弾性係数が増加していき、ダイヤルゲージによる長さ変化率も150サイクルまで収縮を示しており、AEコンクリートの劣化性状と極めてよく似た傾向を示している。なお、ここに用いた供試体は、AEコンクリートを除きいずれも水セメント比が50%であり、コンクリートの目標スランプは10 cmとし、AEコンクリートも同程度のスランプになるように水セメント比を定めたものである。またモルタルの目標フロー値は200 mmである。

本研究では、以上のコンクリート、モルタル等の劣化性状の違いを基とし、凍結融解作用をうけたコンクリートの劣化機構の解明に資することを目的として、コンクリート、モルタル及びモルタル中にモデル粗骨材などを挿入した供試体を用いて、凍結融解試験を行ったものであり、その結果明らかになった2, 3のコンクリートの劣化性状について報告する。

## 2. 実験方法

凍結融解試験はASTM C 666に準じて、1日6サイクルの水中における急速試験を行った。供試体は材齢14日で試験に供し、その中心の温度は $+5^{\circ}\text{C}$ ～ $-18^{\circ}\text{C}$ に制御した。使用したセメントは、比重3.13、粉末度 $4400\text{ cm}^2/\text{g}$ 、凝結始発時間3時間33分、終結時間5時間12分、材齢28日における圧縮強度 $377\text{ kg}/\text{cm}^2$ の早強ポルトランドセメントである。細骨材は北見産山砂と能取産山砂を重量で1:1に混合して使用した。混合後の比重は2.63、吸水量1.81%、粗粒率2.60である。また粗骨材は、比重2.72、吸水量2.95%、粗粒率6.92、最大寸法25 mmの網走産砕石を使用した。さらにモデル粗骨材および鉄筋として、SR 24の丸鋼を使用した。

硬化後の空気量を測定するためのコンクリート供試体の配合は、単位セメント量320 kg、水セメント比50%、細骨材率35%とし、スランプは約10 cmであった。またモルタルの配合は、単位セメント量615 kg、水セメント比50%、単位細骨材量1304 kgとし、フロー値は約200 mmであった。供試体の寸法はいずれも $10\times 10\times 20\text{ cm}$ の角柱供試体でASTM C 457に準じて空気量の測定を行った。測定は打設方向に切断し十分に研磨した供試体の両面 $25\text{ cm}^2$ について20倍の投影機を用いて行った。

凍結融解作用に伴う粗骨材ならびに鉄筋とモルタルとの界面の挙動を調べるために、 $10\times 10\times 40\text{ cm}$ のモルタル製のはり型供試体の表面に、モデル粗骨材として直径が6 mm, 13 mm, 19 mmの3種類で、長さが2 cmの丸鋼を埋め込んだ。また鉄筋として長さ10 cmの丸鋼を埋め込んだ。モデル粗骨材ならびに鉄筋の埋め込み位置は図-4に示すとおりで、モデル粗骨材・鉄筋の供試体中における位置の影響などを調べ

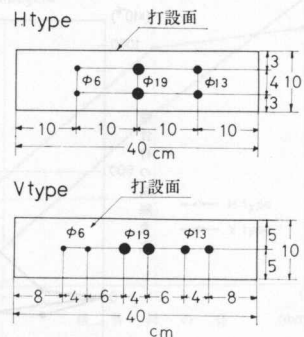


図-4 モデルコンクリート供試体  
Fig. 4. Concrete specimen samples.

るために、打設面に平行に埋め込んだものをHタイプ、垂直に埋め込んだものをVタイプとした。母材に使用したモルタルの配合は、空気量を測定したものと同じである。

表-1 空気量と間隔係数

Table 1. Air void content and spacing factor

	空気量 (%)	間隔係数 ( $\mu$ )
コンクリート	1.1	862
モルタル	3.4	434

3. 実験結果と考察

凍結融解作用によるコンクリートとモルタルの劣化性状の違いの原因を明らかにするために行った硬化したコンクリートとモルタルの空気量と気泡間隔係数の測定結果を表-1に示す。これによれば、コンクリートにくらべてモルタルの空気量は多く、かつ気泡間隔が小さく、いずれもAE剤あるいは減水剤を用いたコンクリートに近い値を示している<sup>1)</sup>。したがって、モルタルがコンクリートにくらべて耐久性が大きい原因の一つとして、モルタル中の細骨材による起泡作用が考えられ、その結果、AEコンクリートの凍結融解抵抗性が大きいのも同じ理由で耐久性が大きくなると考えられる。

また一方、コンクリートの場合、粗骨材とモルタルとの界面の付着が、コンクリートの劣化を促進する弱点となるらしいことは早くから推測されているので<sup>2)</sup>、粗骨材とモルタルとの界面の挙動を調べるために、モデル粗骨材を用いたコンクリートによって、凍結融解作用とともなって生ずる粗骨材の間隔の変化をコンタクトゲージを用いて測定した。図-5にタイプHの場合、図-6にタイプVの場合の測定結果を示す。いずれも粗骨材間の標点距離は4 cmであるが、粗骨材の径が大きいほど粗骨材の間隔の変化が大きくなる傾向がみられる。しかしながら、HタイプとVタイプとの間には大きな差異はなく、モデル粗骨材の位置による影響はあまり認められない。そこで粗骨材の埋め込み位置にかかわらずに、粗骨材の径ごとにまとめた結果と、母材であるモルタル自身の長さ変化率の測定結果を図-7に示す。これによれば、最も粗骨材の間隔の変化の小さい直径6 mmの粗骨材の場合でも、その長さ変化の割合はモルタ

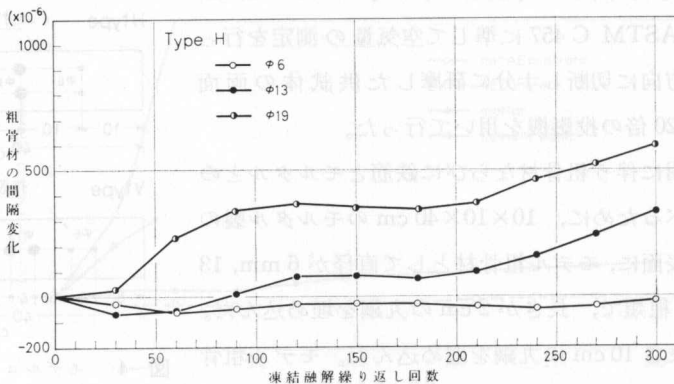


図-5 モデル粗骨材の間隔の変化 (タイプH)

Fig. 5. Interval changes of coarse aggregate samples (type H)

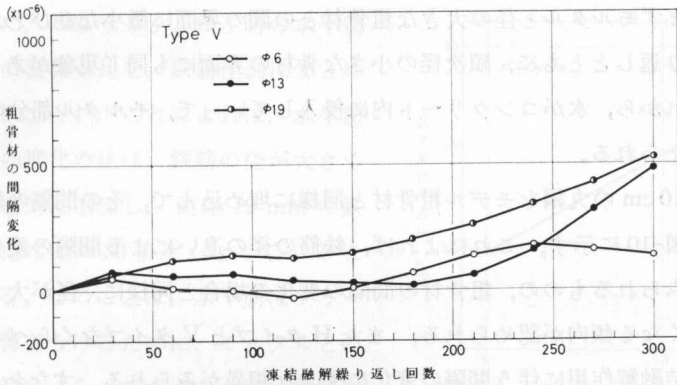


図-6 モデル粗骨材の間隔の変化 (タイプ V)

Fig. 6. Interval changes of coarse aggregate samples (type V)

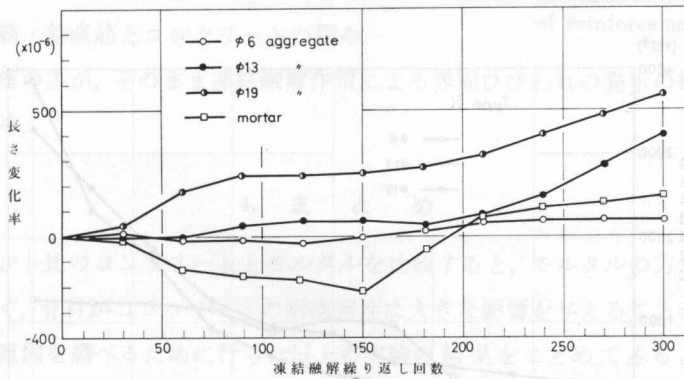


図-7 モデル粗骨材の間隔の変化とモルタルの長さ変化

Fig. 7. Interval changes of coarse aggregate samples and length change of mortar.

ルよりも大きく、凍結融解作用の繰り返しによって粗骨材とモルタルの界面に微小なひびわれが生ずることを示唆している。粗骨材の径による影響をさらに明らかにするために、300 サイクル終了時のタイプ別、径別の長さ変化率の値をあらわすと図-8 のようになる。これによれば、Hタイプの場合、粗骨材の径が大きくなるにしたがって、その間隔の変化が直線的に増加している。またVタイプの場合は、19 mm の径の場合の間隔の変化の割合が他にくらべると小さいが、やはり径が大きくなるにつれて、長さ変化率が大きくなる傾向を示している。以上の実験結果から、凍結融解作用によるコンクリートの

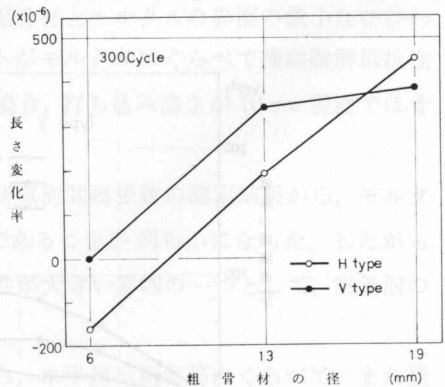


図-8 粗骨材の径と間隔の変化の関係

Fig. 8. Relation between diameters and interval changes of coarse aggregate samples.

劣化の過程は、まずモルタルと径の大きな粗骨材との間の界面に微小なひびわれが発生し、凍結融解作用の繰り返しとともに、順次径の小さな骨材の界面にも同じ現象があらわれて、それらの微小ひびわれから、水がコンクリート内に侵入していった、モルタル部分の組織をこわし破壊に至ると考えられる。

次に、長さ 10 cm の丸鋼をモデル粗骨材と同様に埋め込んで、その間隔の変化を測定した結果を、図-9、図-10 に示す。これによれば、鉄筋の径の違いによる間隔の変化は、やや測定値にばらつきがみられるものの、粗骨材の間隔の変化の場合と同様に、径が大きくなるほど間隔の変化も大きくなる傾向が認められる。また H タイプと V タイプをくらべると、同じ径をもつ鉄筋でも凍結融解作用に伴う間隔の変化に大きな相異がみられる。すなわち、打設面に垂直に埋め込んだ鉄筋、いわゆる鉛直筋は、水平に埋め込んだ水平筋にくらべて、凍結融解作用の繰り返しにもかかわらず、ほとんどその間隔に変化が生じていない。これらの結果をより明

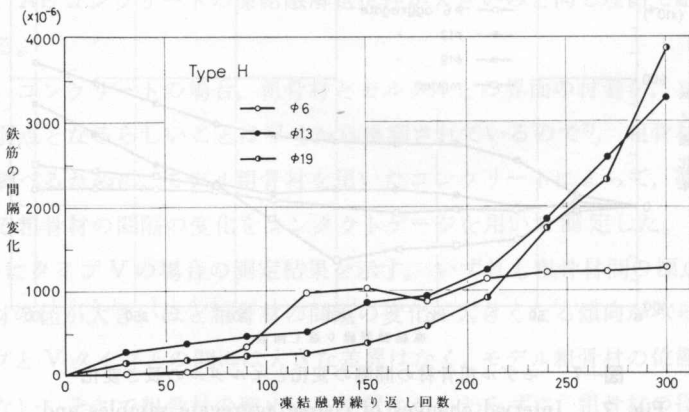


図-9 水平筋の間隔の変化

Fig. 9. Interval changes of horizontal reinforcements.

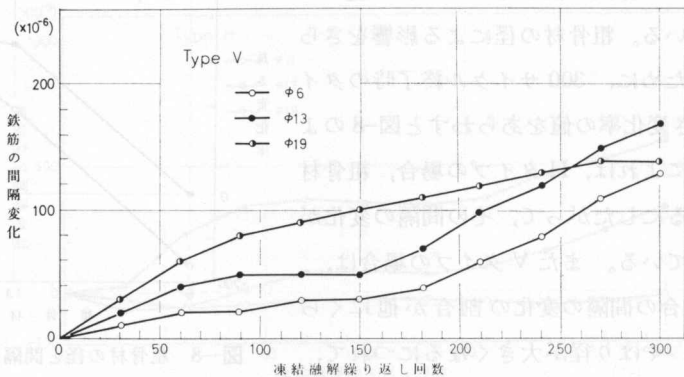


図-10 鉛直筋の間隔の変化

Fig. 10. Interval changes of vertical reinforcements.

らかにするために、300サイクル終了時の水平筋と鉛直筋の間隔の変化の比を、鉄筋径別にまとめたものを、図-11に示す。これによれば、水平筋と鉛直筋の間隔の変化の比は、鉄筋の径が大きくなるにつれて直線的に増加し、直径19mmの鉄筋の場合でその比は実に30倍近くになっていることが明らかである。このことは、水平筋はブリージングなどの影響をうけるために、モルタルとの付着強度が鉛直筋にくらべて小さく、凍結融解作用によって簡単に界面ひびわれが発生することを示唆している。またその影響は径が大きい鉄筋ほど大きく、水平筋・鉛直筋とコンクリートの間の一一般的な付着強度の差が、そのまま凍結融解作用による界面ひびわれの発生の難易の差になることを示している。

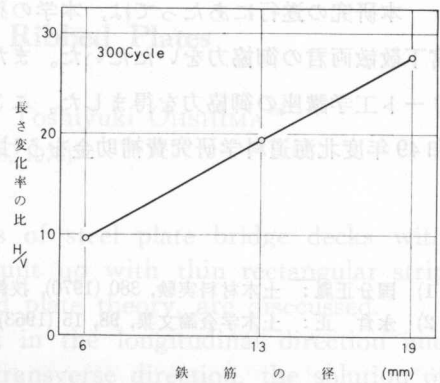


図-11 鉄筋の径と長さ変化率の比の関係

Fig. 11. Relation between diameters and ratio of interval changes of reinforcements.

#### 4. ま と め

同じ水セメント比のコンクリートとモルタルを比較すると、モルタルの方がかなり凍結融解抵抗性が大きく、骨材がコンクリートの耐凍害性に大きな影響を与えることが推測された。主として、その原因を調べるために行った以上の実験の結果をまとめてみると、次のようになる。

1) 丸鋼を粗骨材としたモデルコンクリートの実験結果から、粗骨材の径が大きくなるほど粗骨材間の長さ変化率が大きく、凍結融解抵抗性が小さくなることが明らかになった。したがって、凍結融解作用によるコンクリートの劣化は、粗骨材とモルタルの界面の微小なひびわれから促進すると考えられ、粗骨材を含むコンクリートがモルタルにくらべて凍結融解抵抗性が小さい原因の一つを示していると考えられる。この場合、打ち込み高さが10cm程度では骨材の位置が劣化に与える影響はほとんどないといえる。

2) 硬化したコンクリート、モルタルの空気量及び気泡間隔係数の測定結果から、モルタルの空気量、間隔係数はAEコンクリートに近い値であることが明らかになった。したがって、コンクリートにくらべてモルタルの凍結融解抵抗性が大きい原因の一つとして、気泡の大きさ、分布による影響が考えられる。

3) 鉄筋をモルタル中に埋め込んだ実験の結果から、水平筋が鉛直筋にくらべて、また径の大きい鉄筋が小さい鉄筋にくらべて、付着面にひびわれが生じやすく、一般に認められているコンクリートと鉛直筋・水平筋の付着強度の大小と同様のことが、凍結融解作用に対する抵抗性にもあてはまると考えられる。

本研究の遂行にあたっては、本学の猪狩平三郎技官ならびに元本学4年目学生松永和博・宮下敬敏両君の御協力をいただいた。また実験の遂行にあたっては、北海道大学工学部コンクリート工学講座の御協力を得ました。ここに記して深く感謝の意を表すとともに、本研究は昭和49年度北海道科学研究費補助金をうけて行ったものであることを附記する。

文 献

- 1) 国分正胤：土木材料実験，380 (1970)，技報堂。
- 2) 永倉 正：土木学会論文集，98，15 (1963)。

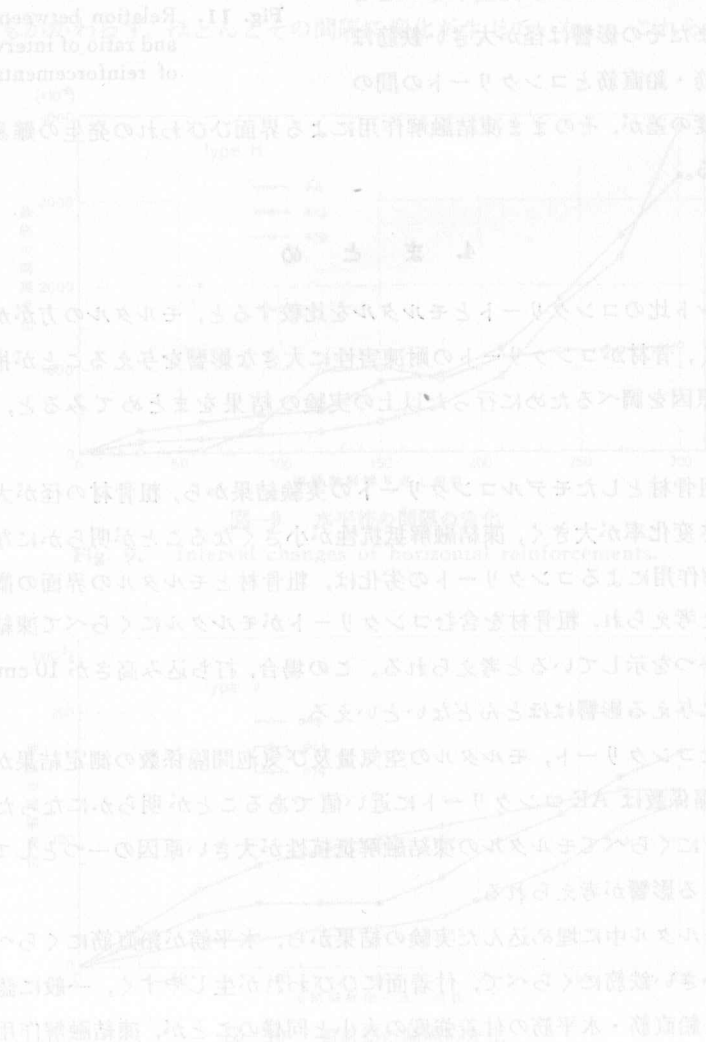


Fig. 10. Lateral change of vertical displacement of specimens with different reinforcement ratios.