

論文

[1047] 打設条件に起因する異方性がコンクリートの耐久性に及ぼす影響

正会員 ○ 西内達雄 (東京大学大学院)

正会員 小林一輔 (東京大学生産技術研究所)

1. はじめに

流動状態にあるコンクリートを一定の高さの型枠内に充填すると、コンクリートを構成している素材の一時的な分離が生じる。即ち、比重の大きい骨材などの粒子は沈降し、比重の最も小さい水は逆に上昇する。このためコンクリートの打設方向、即ち重力の作用する方向には水の上昇に伴い、連続する毛管空隙が生じやすく、この影響は一度に打設する高さが高くなるほど顕著になると考えられる。しかし、このような材料分離に関する研究は、強度などの力学的諸性状に関するものが大部分で、アルカリ骨材反応、鋼材腐食等といったような耐久性に関連した研究は、ほとんど行われていないのが現状である。このため本研究では、打設直後のブリーディングを伴う材料分離によって生じたコンクリートの耐久性に関連する諸性状、即ち、アルカリ骨材反応による膨張性状、酸素の拡散性状、塩化物イオンの浸透性状等の異方性について検討を行なったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

膨張性状を調べた実験において使用したセメントは、 $R_2O=0.57\%$ の普通ポルトランドセメント、粗骨材は非反応性である砕石(最大寸法20mm)、細骨材は非反応性である川砂と反応性である砕砂を使用した。コンクリートの配合は $W/C=50\%$ 、単位水量185kg、 $s/a=46\%$ 、スランプが8~10cmとなるようにした。また、モルタルの配合は重量比で $W:C:S=0.5:1:2.25$ となるようにし、セメントの Na_2O 当量が1.5%となるよう $NaOH$ で調整した。

酸素の拡散性状を調べた実験において使用したセメントは、 $R_2O=0.57\%$ の普通ポルトランドセメント、粗骨材は非反応性である砕石、細骨材は川砂を使用し、コンクリートの配合は $W/C=50\%$ 、単位水量185kg、 $s/a=46\%$ 、スランプが8~10cmとなるようにした。

海洋飛沫帯における暴露実験によって、塩化物イオンの浸透性状を調べる供試体に用いたセメントは、 $R_2O=0.51\%$ の早強ポルトランドセメント、粗骨材は非反応性の砕石、細骨材は非反応性の砕砂を使用し、コンクリートの配合は $W/C=43\%$ 、単位水量185kg、 $s/a=43\%$ 、スランプが8~10cmとなるようにし、セメントの Na_2O 当量が1.5%となるよう $NaOH$ で調整した。

2.2 供試体と養生方法

ある一定の形状の部材、例えば直方体の形をしたコンクリート部材を作る場合には、長手方向の軸を水平にして作る場合(即ち梁:本研究では横打ち供試体(H))と鉛直にして作る場合(即ち柱:本研究では縦打ち供試体(V))の2通りの作り方がある。いずれもコンクリートの充填は休止時間を置くことなく、連続的に行なうとすれば、同一の寸法、形状のものを作っても、材料分離の影響を受ける度合の差によって、両者ではその内部構造は異なるものと考えられる。このため本研究では、 $\phi 2cm$ の中空部分を持つ $\phi 10 \times 40cm$ の円筒管供試体と $10 \times 10 \times 40cm$ 、 $20 \times 20 \times 50cm$ (暴露供試体)の直方体供試体を用い、縦打ち供試体は3層、横打ち供試体は2層に分けて打設した。脱型後、膨張量測定用円筒管モルタル供試体は $40^\circ C$ 、 $100\%RH$ の環境下に、その他

の供試体は20℃、100%RHの環境下において、所定の材令に達するまで養生した。なお、塩化物イオンの浸透性状を調べる供試体は、材令1カ月の時点で伊豆海洋公園内海洋暴露場に搬入した。

2.3 実験方法

膨張量測定供試体において、中空円筒管モルタル供試体は図-1に示すように、2方向のひずみゲージより、一軸拘束状態供試体は端部に設置したロードセルよりひずみを読み取り応力を算出した¹⁾。

酸素の拡散性状を調べた供試体（無筋）は、所定の材令に達すると、図-2に示すような試料を切り出し、酸素の拡散係数試験方法（JCI規準案）に準じ、拡散セルを用いる拡散試験装置^{2) 3)}を用いて酸素拡散係数を測定した。

塩化物イオンの浸透性状を調べた供試体は、暴露1年の時点で10×10×1cmのコンクリート片（図-6参照）を切り出し、その表面の塩素の分布状態を電子線マイクロアナライザー（EPMA）を用いて調べた。

3. 結果及び考察

二軸拘束中空円筒管モルタル供試体の測定結果を図-3に示す。この図より膨張率は、鉛直方向の膨張をシミュレートした縦打ち供試体の膨張率の方が、水平方向の膨張をシミュレートした横打ち供試体の膨張率よりもかなり大きく、縦打ち供試体の高さ方向の変状に関しては、最上層部の膨張率が中、最下層部の膨張率より大きいことがわかる。また、図-4の膨張性混和材（混入量 60kg/m³）を用いた一軸拘束膨張量の結果からも、鉛直方向の膨張量の方が水平方向の膨張量より大きいことがわかる。これらのことから膨張性状の相違は、打設条件に起因する内部の毛管空隙の連続性と、それによる孔隙水の移動のしやすさが原因ではないかと考えられる。

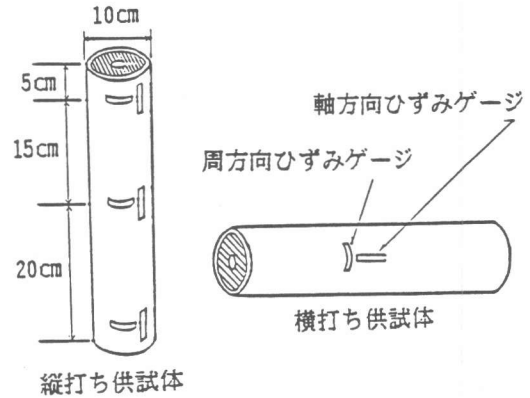


図-1 中空円筒管モルタル供試体

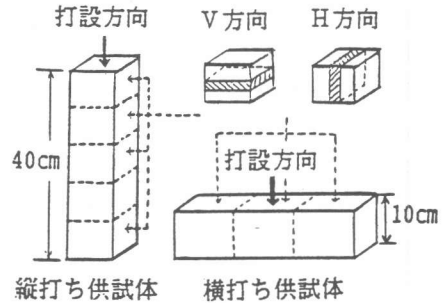


図-2 酸素拡散用試料とその採取位置

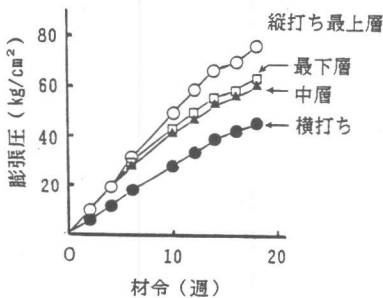


図-3 中空円筒管供試体膨張圧測定結果

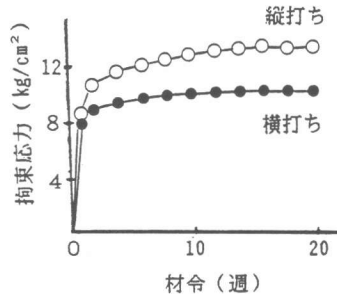


図-4 一軸拘束膨張量測定結果

また酸素拡散係数の経時変化を図-5に示す。この図より、縦打ち供試体においては、材令1カ月において非常に大きい値を示した最上層部では、材令の経過とともにV方向、H方向の値はともに小さくなり、下層部の値との差が縮まってきている。この傾向は、V方向の値の場合においては顕著に認められるが、H方向の値の場合においては、材令1カ月の値が突出していることもあって、この傾向はほとんど認められない。この原因は、V方向の値は毛管空隙に依存するのに対して、H方向の値は粗骨

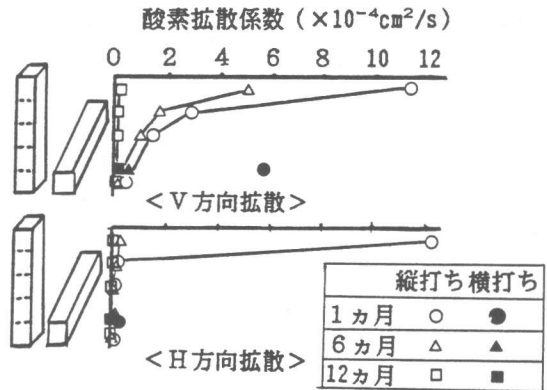


図-5 試料採取位置と酸素拡散係数の関係

材下面に生じた空隙に依存するため、材令の経過に伴う空隙の充填の影響を受けにくいと考えられる。同様にして、横打ち供試体においてもV方向の値は材令の経過とともに小さくなり、H方向の値との差が縮まってきている。

さらに、暴露実験を行なった供試体における塩化物イオンの浸透性状の結果を、写真-1~3と図-6に示す。

写真-1~3より、縦打ち供試体最上層部では、塩化物イオンの浸透深さ(X線のカウン数が30カウント以上で写真上白い領域)が、かぶり2cmの鉄筋位置まで到達しているのに対して、同じ縦打ち供試体の最下層部では、塩化物イオンの浸透深さは最上層部の浸透深さの半分以下でしかないことが分かる。また、横打ち供試体では鉛直方向からの塩化物イオンの浸透深さは、縦打ち供試体最上層部での浸透深さと同程度であること、鉛直方向からの浸透深さの方が水平方向からの浸透深さよりも大きいことが分かる。

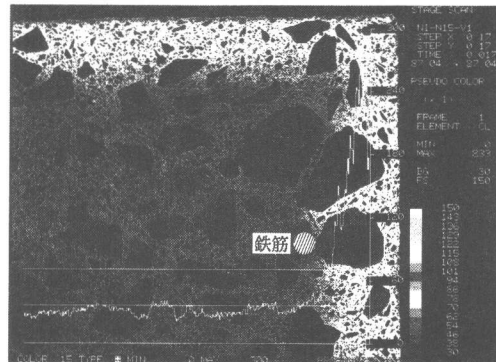


写真-1 塩化物イオンの浸透深さ(縦打ち最上層部)

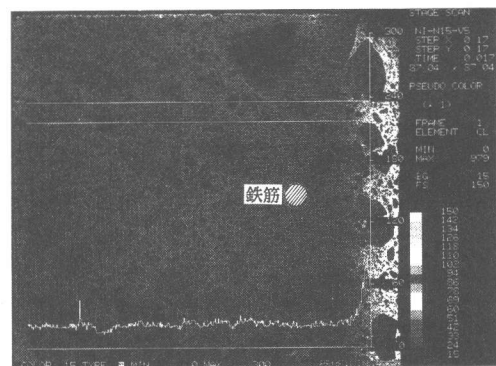


写真-2 塩化物イオンの浸透深さ(縦打ち最下層部)
(注: 最下層7mm部分は写真上に表示されていない)

これらの結果をまとめたものが図-6である。この図より、塩化物イオンの浸透性状は図-5の酸素拡散係数の材令1カ月の傾向と、非常に良く似ていることがわかる。即ち、縦打ち供試体最上層部では鉛直方向、水平方向とも塩化物イオンの浸透深さは同程度の値であり、最下層部での値よりも大きく、横打ち供試体では鉛直方向からの

浸透深さの値の方が、水平方向からの浸透深さの値よりも大きいことである。

以上の拡散，浸透性状の結果から，打設する高さが大きい鉄筋コンクリート構造物を，一度に打設した場合，打設面から下方十数cmの部分において，鉄筋の腐食がそれ以下の層に比べて非常に起こりやすい構造をしており，それ以下の層においても，何層かに分けて打設した場合よりは，鉄筋が腐食しやすい傾向にあると考えられる。しかし何層かに分けて打設した場合においても，その打ち継ぎ目から下方数cmの部分には，鉄筋の腐食が起こりやすい構造であると考えられる（図-7参照）。

4. まとめ

打設直後のブリーディングを伴う材料分離により，コンクリート内部には鉛直方向に連続的な毛管空隙が形成され，その結果，鉛直方向の膨張をシミュレートした縦打ち供試体の膨張量の方が，水平方向の膨張をシミュレートした横打ち供試体の膨張量よりも大きく，酸素の拡散係数，塩化物イオンの浸透深さはともに鉛直方向の値の方が水平方向の値よりも大きくなることが明らかとなった。しかし材令が1年に達すると，酸素拡散係数に関しては異方性の影響はほとんど現れなくなる。また，コンクリート部材の打設面に近い上層部では，酸素拡散係数，塩化物イオンの浸透深さはともに，鉛直，水平両方向からに対しても値は大きく，膨張圧もそれ以下の層より大きくなることがわかった。

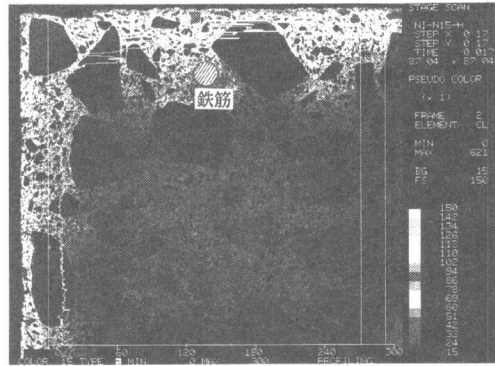


写真-3 塩化物イオンの浸透深さ（横打ち中央部）

表面からの塩化物イオンの浸透深さ（mm）

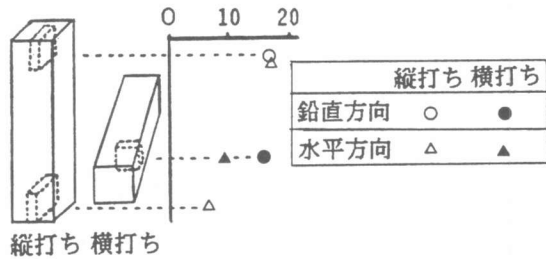


図-6 試料採取位置と塩化物イオンの浸透深さの関係

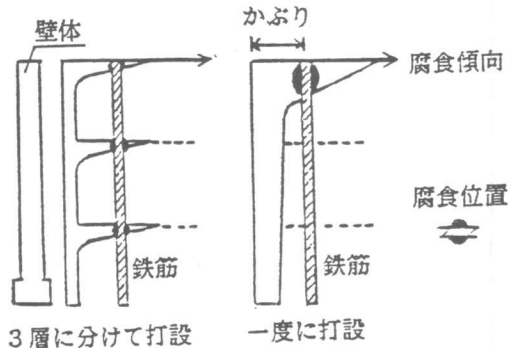


図-7 打設高さ鉄筋の腐食傾向の関係

参考文献

- 1) 小林一輔，瀬野康弘，河合研至，宇野祐一：反応性骨材を用いたモルタル細孔溶液の組成，第10回コンクリート工学年次講演会論文集，1988，pp.733～738。
- 2) 小林一輔，出頭圭三：各種セメント系材料の酸素の拡散性状に関する研究，コンクリート工学（論文）No.86，12-1，1986，pp.1～16。
- 3) セメント系材料の酸素の拡散係数測定装置：生研リーフレット，No.144，1986。