

## [31] 微小モルタル供試体の引張強度特性について

正会員 ○ 鮎 田 耕 一 (北見工業大学工学部)

正会員 林 正道 (北見工業大学工学部)

## 1. まえがき

寒冷地のコンクリート構造物は凍結融解作用を受けることによってスケーリングを発生しやすい。スケーリングの発生はコンクリート露出面の引張強度に影響されると考えられるので、本研究では微小モルタル円柱供試体を用いて露出面の引張強度特性を把握することを試みた。ここで用いた微小供試体の直径は1~5 cmであり、小さい供試体ほど外部からの影響を受けやすく露出面により近い部分の性状をあらわすことになる。既報<sup>1)</sup>のセメントの結合水量の試験結果から、この微小供試体の大きさの範囲で露出面からおおよそ1 cm以内の深さの強度性状をあらわしていることが明らかにされている。

さて、コンクリート露出面の強度は湿潤養生を十分に行えば材令とともに増加するが、養生を終えた部材は表面から徐々に乾燥するため内部に比べて乾燥面の水和が遅れ、強度の増進が内部ほど期待できないことが想像される。一方、凍結作用は露出面に近いほど激しいので強度の小さい露出面ほど厳しい環境にさらされることになる。そこで本研究ではまず乾燥が露出面の引張強度に及ぼす影響を明らかにした。また、北海道の海岸・港湾コンクリート構造物には混合セメントが多く用いられているとともに、スケーリングも多く発生している<sup>2)</sup>ので、引張強度発現に及ぼす海水の影響とフライアッシュ含有量の影響についても検討した。

## 2. 実験方法

実験は乾燥及び海水が引張強度に及ぼす影響(実験Ⅰ)とフライアッシュの含有量の影響(実験Ⅱ)に分けて行った。

## (1) 実験Ⅰ

供試体は直径の2倍の高さをもつ円柱形で、直径は1, 2, 3, 4, 5 cmの5種類である。セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.17, 粉末度 $2950 \text{ cm}^2/\text{g}$ )、細骨材は豊浦標準砂を使用した。モルタルの配合は $W/C = 0.55$ ,  $S/C = 2.00$ でフロー値が $170 \pm 10 \text{ mm}$ である。練りまぜは室温 $20^\circ\text{C}$ 、湿度95%の恒温恒湿室でセメント強さ試験用のモルタル練り混ぜ機(公称容量5 ℓ)を使用し、すべての材料投入後3分間行った。締固めは型枠の大きさに応じた突き棒を用いて行い、型枠の取り外しは成形後約24時間(試験材令1日のものは20時間)で行った。なお、供試体は同一条件に対して6個作製した。

作製後の供試体は表-1に示す環境に所定材令までおいた。乾燥供試体は引張強度試験開始2時間前に水中に浸し表面を吸水性の布で拭いたのち試験に供した。

引張強度試験はJIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」に準じて行ったが、載荷荷重が500 kgf以上のときには容量2.5 tf以上の圧縮試験機、それより小さい荷重に対してはブルーピングリング使用の圧縮試験機を用いた。

引張強度試験後、供試体を破碎して5~2.5 mmの試料約10 gを採取しアセトン中で洗浄後、D-Dryにより乾燥した。この試料を用いて水銀圧入試験を行いモルタルの細孔容積を測定した。

## (2) 実験Ⅱ

供試体は $\phi 2 \times 4 \text{ cm}$ のモルタル円柱である。使用したセメントと細骨材、練り混ぜ方法、供試体個数、引張強

表-1 環境条件

環境条件	型枠取り外し前	型枠取り外し後
(1) 水中養生	20℃, 湿度95%	20℃水中養生槽
(2) 湿度50%	20℃, 湿度50%	20℃湿度50%恒温恒湿室
(3) 湿度25%	20℃, 湿度50%	30℃湿度25%恒温恒湿機
(4) 海水浸漬	20℃, 湿度95%	20℃海水槽

度試験方法は実験 I と同じである。フライアッシュ（比重 2.20、粉末度  $3660 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）はモルタル練り混ぜ時に混合した。フライアッシュの分量は 0, 8, 15% とし、比較のためにフライアッシュ全量を細骨材で置き換えたモルタルも作製した。いずれもフロー値が  $170 \pm 10 \text{ mm}$  になるように試し練りによって配合を決定した。その結果を表-2 に示す。供試体は型枠を取り外し後すべて  $20^\circ\text{C}$  水中養生を行った。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 乾燥の影響について

図-1 に  $\phi 1$ ,  $\phi 5 \text{ cm}$  供試体の材令の進行に伴う引張強度発現性状を、図-2 に各寸法の材令91日の引張強度を示した。図-2 から明らかなように強い乾燥（湿度 25%,  $30^\circ\text{C}$ ）のもとでは部材露出面近傍の強度発現は停滞し、材令91日の引張強度（平均値  $14.1 \text{ kgf/cm}^2$ ）は水中養生の場合（平均値  $34.0 \text{ kgf/cm}^2$ ）の  $1/2$  以下である。一方、湿度 50% ( $20^\circ\text{C}$ ) の乾燥条件でも引張強度の発現は停滞するが露出面にごく近い部分の強度はやや深い部分に比べて大きくなる傾向を示している。これは炭酸化の影響<sup>31~5)</sup>と考えられる。図-3 は  $\phi 1$ ,  $\phi 5 \text{ cm}$  供試体（材令91日）の細孔容積を示したものであるが、乾燥（湿度 50%）条件のもとでは水中養生に比べて細孔径が大きく総細孔容積 ( $V_p$ , 細孔径  $37 \sim 562000 \text{ \AA}$  の範囲) が多くなっている。図-4 は材令91日の総細孔容積と引張強度の関係を示したものであるが、総細孔容積が増加するのに伴い引張強度が低下している。これ

表-2 モルタルの配合

記号	フライアッシュの分量 (%)	単 位 量		W/C+F (%)
		C (kg)	F (kg)	
N	0	614	0	55.0
F 8	8	565	49	54.0
S 8	—	565	0	59.0
F 15	15	522	92	53.0
S 15	—	522	0	64.5

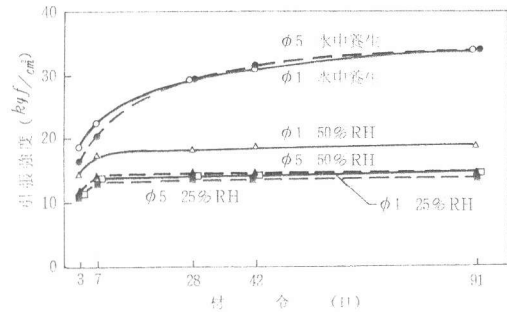


図-1 材令と引張強度 (乾燥の影響)

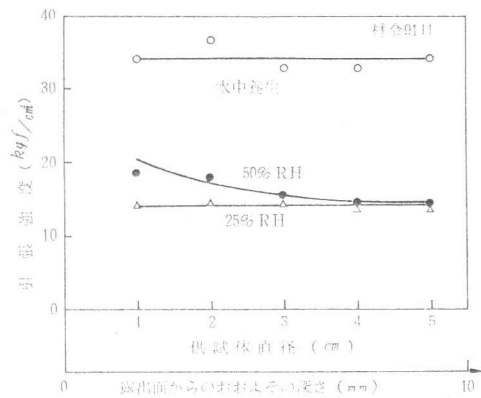


図-2 寸法と引張強度 (乾燥の影響)

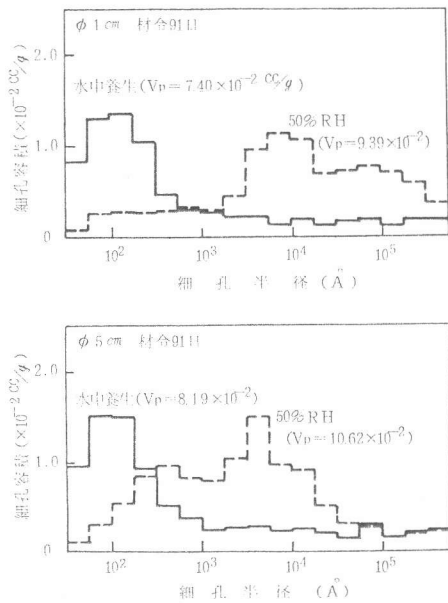


図-3 細孔容積 (乾燥の影響)

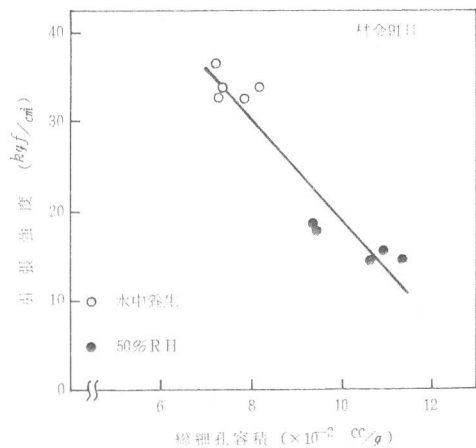


図-4 総細孔容積と引張強度 (乾燥の影響)

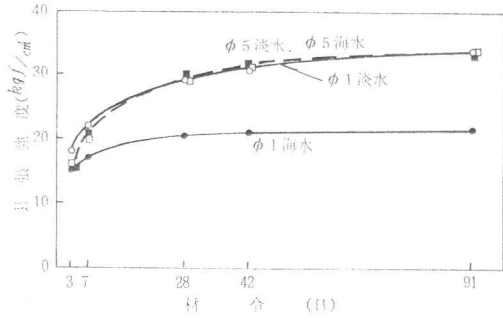


図-5 材令と引張強度（海水の影響）

らのことから乾燥した露出面近傍では内部より細孔容積が多く、これが引張強度の発現を停滞させるとともに、低温下では粗大な細孔構造が毛細管水の凍結点を上昇させる<sup>6)</sup>結果にもなっていると考えられる。

(2) 海水の影響について

図-5にφ1, φ5cm供試体の材令の進行に伴う引張強度発現性状を、図-6に海水浸漬供試体各寸法の材令7, 28, 91日の引張強度を示した。図-6から明らかなように海水に浸漬された供試体は寸法が小さいほど、換言すればコンクリート露出面に近いほど強度発現が停滞し、φ1cm供試体では材令7日以降の強度増進はほとんどない。図-7はφ1, φ5cm供試体（材令91日）の細孔容積を示したものであるが、φ1cm海水浸漬供試体の細孔半径は淡水浸漬の場合に比べて粗大化している。この細孔構造の粗大化はセメントペースト硬化体の水和物中のCa(OH)<sub>2</sub>が海水によって溶出することが主な原因であると考えられる<sup>7)</sup>が、海水にさらされるコンクリートではこの細孔構造の粗大化によりスケーリングが発生、進行しやすいことを示している。特に海岸、港湾コンクリート構造物の中で乾燥と海水の相互作用を受ける部位でスケーリングの被害を受けやすい原因の一つはこのように大きな毛細管空気を多く持っているためといえよう。

(3) フライアッシュの分量の影響について

図-8に表-2に示した各配合のモルタルの材令の進行に伴う引張強度発現性状を、図-9にフライアッシュの分量と引張強度の関係を示した。フライアッシュを8, 15%混和したモルタルはワーカビリティが改善されW/C+Fがフライアッシュ無混和よりそれぞれ1, 2%小さくなっているが、材令28日の引張強度はそれぞれ5, 10%ほど低く、ポゾラン反応の効果が十分にあらわれるのはさらに長期材令になってからである。図-10は引張強度発現に及ぼすフライアッシュの効果を示した。ここで効果とは各材令においてフライアッシュがセメントの強度上の役割をどの程度発揮しているかを

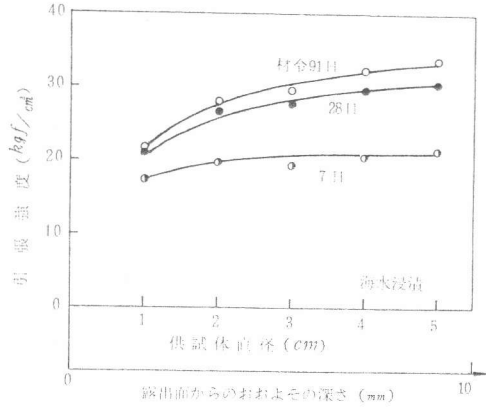


図-6 寸法と引張強度（海水の影響）

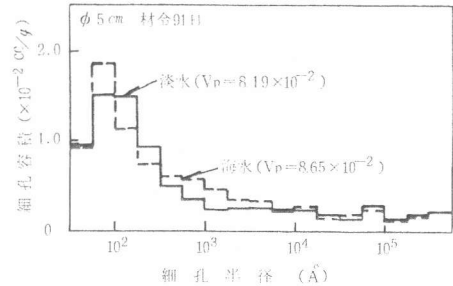
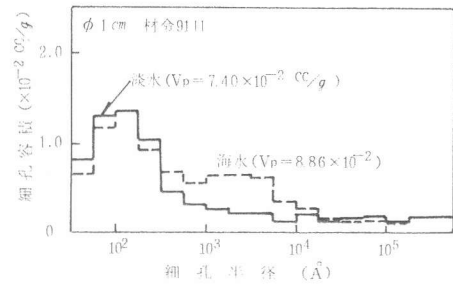


図-7 細孔容積（海水の影響）

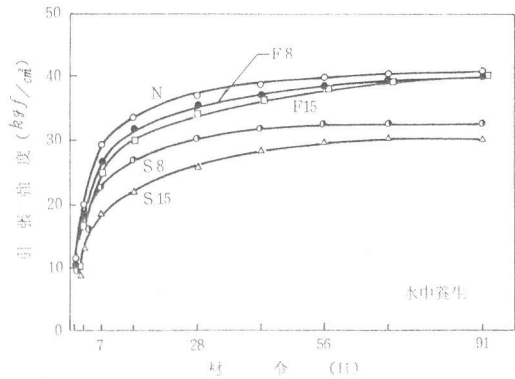


図-8 材令と引張強度（フライアッシュの分量の影響）

あらわしたもので、効果が0%であればフライアッシュの強度上の役割は砂並みであり、効果が100%であればセメント並みであることを意味している。この結果からセメントの代替としてフライアッシュを混和した場合の引張強度は、若令では混和しない場合に比べて小さいが、長期的には同程度になるといえよう。

#### 4. 結論

寒冷地のコンクリート構造物のスケーリングの発生、進行に影響を及ぼす露出面の引張強度性状を明らかにするために直径が1~5 cmの微小モルタル円柱供試体を用いて強度試験、細孔構造の測定を行った。この実験の範囲で得られた結論を要約すると次のようになる。

- (1) 強い乾燥（湿度25%、30℃）のもとでは露出面の引張強度の発現は停滞し、材令91日強度は水中養生（20℃）の1/2以下である。湿度50%（20℃）の乾燥状態でも引張強度の発現は停滞するが、露出面にごく近い部分は炭酸化のためにやや深い部分に比べると引張強度は大きくなる。
- (2) 海水の作用を受ける場合、露出面にごく近い部分の引張強度の発現は材令7日以降停滞する。
- (3) 乾燥あるいは海水の作用を受ける露出面の引張強度が小さい原因として、硬化したセメントペースト中の毛細管空けきが水中養生の場合に比べて多く、かつ大きいことがあげられる。また、このことは低温下で毛細管水の凍結点を上昇させる働きもしていると考えられる。
- (4) セメントの代替としてフライアッシュを混和した場合の引張強度は、若令では混和しない場合に比べて小さいが、長期的には同程度になる。

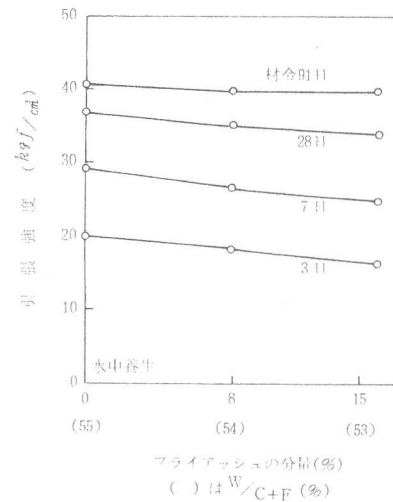


図-9 フライアッシュの分量と引張強度

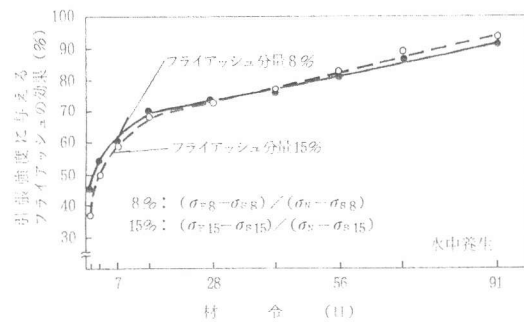


図-10 引張強度に与えるフライアッシュの効果

本研究の遂行にあたり御助力をいただいた猪狩平三郎、岡田包儀の両氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 鮎田耕一、林正道、猪狩平三郎、岡田包儀：炭酸化に伴うコンクリート露出面の強度性状の変化、土木学会北海道支部論文報告集第39号、昭和58年2月
- 2) 佐伯昇、鮎田耕一、前川静男：北海道における海岸および港湾コンクリート構造物の凍害による表面剝離現象、土木学会論文報告集 第327号、昭和57年11月
- 3) 林正道、鮎田耕一、長山塔一：乾燥に伴うコンクリート露出面の強度の変化、土木学会北海道支部論文報告集 第37号、昭和56年2月
- 4) 林正道、鮎田耕一：寒冷地のコンクリート構造物の耐久性、第9回セメント・コンクリート研究討論会資料、昭和57年9月
- 5) 鮎田耕一、林正道：微小モルタル供試体の強度に及ぼす炭酸化の影響、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、昭和56年4月
- 6) 林正道、清水昭：寒中および暑中コンクリート・軽量骨材コンクリート、最新コンクリート技術選書4、山海堂
- 7) 鮎田耕一、林正道：海水にさらされたコンクリート露出面の強度性状、セメント技術年報36、昭和57年12月