

V—9

コンクリート露出面の引張強度発現性状

北見工業大学 正会員 鮎 田 耕 一
 北見工業大学 正会員 林 正 道
 北見工業大学 正会員 猪 狩 平三郎
 北見工業大学 岡 田 包 儀

1. まえがき

コンクリート構造物は、一般に耐久性に優れているとされている。しかし、実際の気象、環境条件のもとでは、物理的・化学的作用を受けることにより、ひびわれ・損食・侵食・骨材の化学反応・鉄筋の腐食などが生じ、耐久性が損なわれていくことが少なからずある。北海道のような寒冷地のコンクリート構造物は、特に厳しい気象条件にさらされ、凍結融解作用を受ける場合が多いので耐久性も損なわれやすい。凍結融解作用による劣化の形態のうち、建造後あまり年数の経過していない構造物に多く見受けられるのは、モルタルマトリックス部分が剥落する程度のスケーリングであり、特に、海岸構造物に多い。

本研究では、このスケーリングの発生機構を明らかにするために、乾燥や海水がコンクリート露出面近傍（露出面から深さ 10 mm 程度までの範囲）のモルタルマトリックスの引張強度、細孔構造に及ぼす影響について検討した。露出面近傍の引張強度を求めるための手法として、先に報告¹⁾した微小モルタル円柱供試体を用いる方法を本研究でも採用した。この方法によれば、直径 5 cm までの円柱供試体を用いることにより部材露出面からおおよそ 10 mm 深さまでの強度性状をあらわすことができると考えられている。

2. 実験方法

(1) 使用材料と配合

セメントは混合材を加えていない普通ポルトランドセメント（比重 3.17, 粉末度 2950 cm^3/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 ± 10 になるようにした。

(2) 供試体と温度・湿度条件

供試体の寸法は、直径が 1, 2, 3, 4, 5 cm の 5 種類、高さは直径の 2 倍であり、成形用型は鋼製である。

練り混ぜは、温度 20℃、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を使用し、すべての材料投入後 3 分間行った。締固めは突き棒によったが、供試体の大きさにより締固めの状態が異なるのを避けるため、成形用型の径と突き棒の径の比を一定にした 5 種類の太さの突き棒を用いた。

供試体は表-1 に示す温度・湿度条件のもとにおいた。表中、炭酸ガスを含まない気中での乾燥は、デンケータの底部に KOH 溶液を入れて行った¹⁾。型枠の取り外しは、型詰め後約 24 時間で行った。

(3) 引張強度試験方法

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 以上のときは容量 2.5 tf の圧縮試験機、それより小さい荷重に対しては、最大荷重に応じて 3 種類（1000 kgf ，200 kgf ，50 kgf ）のプルービングリング使用の圧縮試験機を用いた。載荷速度は毎分 4～5 kgf/cm^2 とした。強度試験は、材令 3，7，28，42，91 日で行い、供試体は同一条件に対して 6 個作製した。乾燥状態にあった供試体は、試験開始前 2 時間 20℃ の淡水中に浸し、表面を吸水性の布で拭いた後用いた。また、この実験の場合、供試体寸法の違いによる引張強度の補正を行っていない。

(4) 細孔構造試験

強度試験終了後、供試体を粉砕して 2.5～5 mm の試料を約 10 g 採取し、約 200 ml のアセトン中で 10～

表-1 温度・湿度条件

温度・湿度条件		型枠取り外し前	型枠取り外し後
水	中	20℃，湿度 95%	20℃ 水中(淡水)養生槽
海	水	中	20℃ 海水槽
湿	度 50 %	20℃，湿度 50%	20℃ 湿度 50% 恒温恒湿室
			20℃ 湿度 50% 炭酸ガスを含まない気中
湿	度 25 %	20℃，湿度 50%	30℃ 湿度 25%

15分間攪拌洗浄後、D－dryにより48時間乾燥し、細孔構造試験用の試料とした。細孔構造の測定には水銀圧入式ポロシメーター（3．(2)ではカルロエルバ社220型、3．(3)ではマイクロメリティックス社900型）を使用した。1回の試験に3～4本の試料を使用し、同一条件につき3回測定し、結果はその平均値を用いた。

3. 実験結果と考察

(1) 乾燥が露出面近傍の引張強度発現に及ぼす影響

20℃水中（淡水）養生及び、30℃湿度25％、20℃湿度50％の雰囲気中で乾燥を行った場合の引張強度を、それぞれ図－1、2、3に示した。

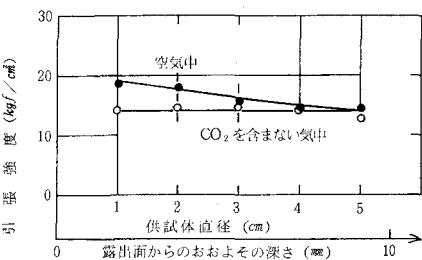
図－1の水中養生の場合、材令の進行とともに、順調に引張強度が増加している。また、供試体の寸法が変化しても引張強度の大きさは変わらない。すなわち、露出面近傍では、材令の進行とともに水和が進行し、各材令における深さ方向の引張強度は、ほぼ同じである。

図－2の湿度25％の場合では、露出面近傍の材令7日以降91日までの引張強度の増加はほとんどなく、このように強い乾燥を受ける場合には引張強度の発現が著しく停滞することが明らかである。

図－3の湿度50％の場合も、露出面近傍では長期材令の強度の伸びがないが、露出面に近い部分ほど強度が大きくなる傾向にある。

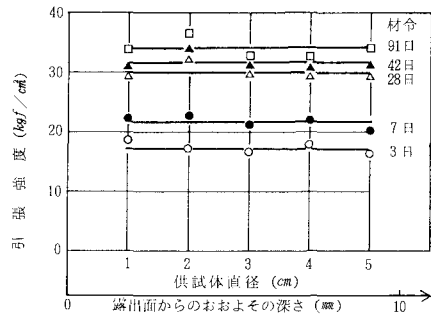
図－4に、20℃湿度50％の空气中と炭酸ガスを含まない空气中で乾燥した場合の結果を示した。同じ温度・湿度条件でも炭酸ガスを含まない気中では、露出面に近い部分でも強度増加の現象は認められない。このことから、空气中においた場合に露出面にごく近い部分（約5mm以内）の強度が大きくなるのは、空气中の炭酸ガスがセメント硬化体中の水酸化カルシウムと反応し、炭酸カルシウムに変わる、いわゆる炭酸化によりセメント硬化体の構造を緻密化したためと考えられる。

図－5に、水中養生、湿度50％、湿度25％の3条件の材令91日における引張強度を示した。乾燥によって露出面近傍の引張強度の発現は著しく停滞し、炭酸化の反応が生じにくい乾燥条件や深さでは、水中養生に比べて40％程度の強度にしかならない。

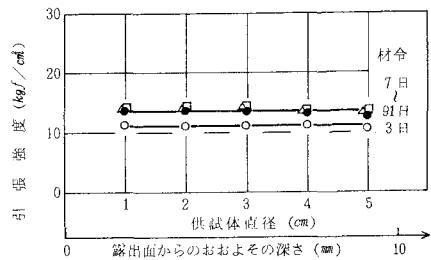


←図－4
引張強度
(炭酸ガスの影響)

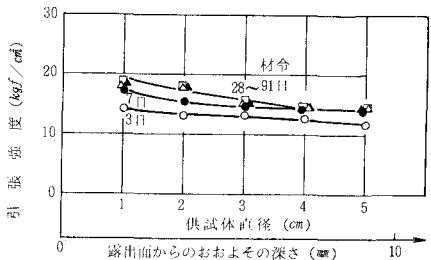
図－5→
引張強度
(温・湿度条件の比較)



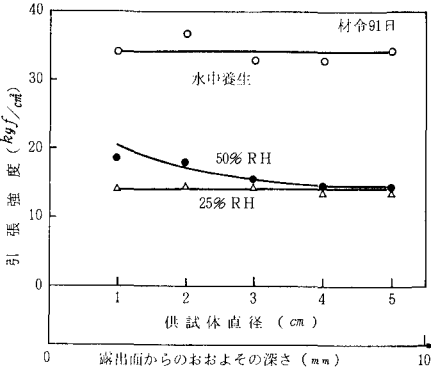
図－1 引張強度（水中養生）



図－2 引張強度（湿度25％）



図－3 引張強度（湿度50％）



多くの場合に、コンクリート構造物は養生終了後から乾燥状態におかれる。以上の実験結果によると、乾燥条件のもとでは露出面近傍の引張強度の発現を期待することは難しいといえよう。

(2) 乾燥が露出面近傍の細孔構造に及ぼす影響

図-6, 7に材令91日まで水中養生あるいは20℃, 湿度50%の空气中で乾燥した場合の直径5 cmと1 cmの供試体の細孔構造の測定結果を示した。

図-6の直径5 cmの供試体の細孔の測定結果によれば、水中養生を行った場合には、数十～数百Åの半径の細孔が卓越しているのに比べて、湿度50%の場合には数百Å以上のものが卓越している。このように、乾燥条件下にあった場合には、セメント硬化体中の毛細管空隙がゲル組織で充填されにくく、水中養生の場合に比べて細孔構造が粗大である。図-7の直径1 cmの供試体の細孔構造も同様の傾向を示しているが、湿度50%の乾燥の場合、直径5 cmの供試体に比べて1000 Å以下の小さい半径の細孔が少ない。このことは図-8の総細孔容積（細孔の測定範囲37～562,000 Å）にも現われている。この図は、各条件のもとに材令91日までおいた供試体の総細孔容積を示した結果であるが、20℃湿度50%の空气中におかれた場合には、供試体の寸法が小さいほど総細孔容積は少なくなっている。これに対して、同じ温度・湿度条件でも炭酸ガスを含まない気中で乾燥させた場合、あるいは水中養生の場合には、供試体寸法が変わっても総細孔容積は変わらない。したがって、20℃湿度50%の空气中で乾燥した場合に、小さい寸法の供試体で半径1000 Å以下の細孔が少なくなるのは、(1)で述べた炭酸化によりセメント硬化体が緻密化したためと考えられる。

図-9に、総細孔容積と引張強度の関係を示した。乾燥により引張強度の増進が停滞していることと、細孔構造が粗大であることは密接な関連がある。すなわち、乾燥によりゲル組織の発達が不十分であることが、引張強度の停滞を招いていることが明らかである。

また、図-6, 7でみたように、乾燥により半径が数百～数千Å以上の細孔が多くなる。この大きさの細孔中の水分は温度が-20℃程度まで下がるにつれて新たな凍結をもたらすと考えられている²⁾。すなわち、コンクリートが乾燥することにより露出面近傍の引張強度の増進が停滞するばかりでなく、その細孔構造は凍結による劣化を生じやすい形態となっている。

(3) 海水が露出面近傍の引張強度と細孔構造に及ぼす影響

図-10に材令7, 28, 91日まで海水に浸漬した場合の引張

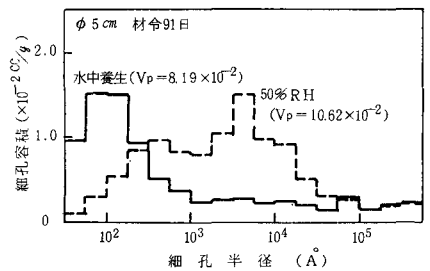


図-6 細孔構造

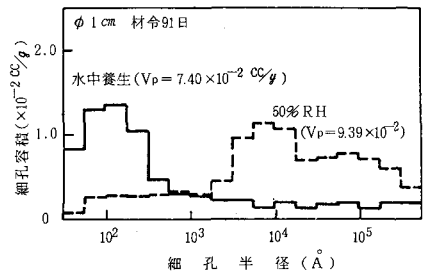


図-7 細孔構造

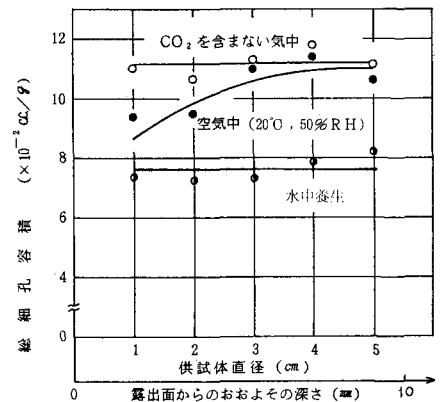


図-8 総細孔容積

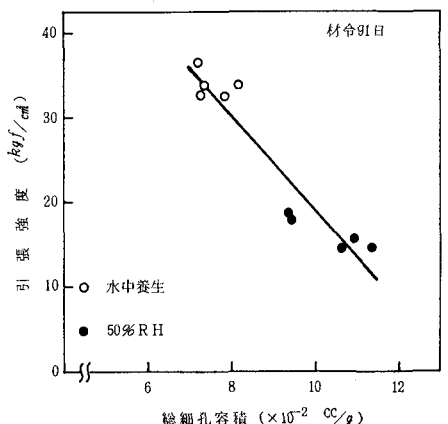


図-9 総細孔容積と引張強度の関係

強度を示した。寸法の大きい供試体は、材令の進行とともに引張強度は増加しているが、寸法の小さい供試体では強度の伸びは少なく、直径1 cmの供試体の材令91日の引張強度は、直径5 cmの供試体の65%程度である。すなわち、海水の作用を受けることにより露出面にごく近い部分の引張強度の発現は停滞することを示している。

図-11、12は、それぞれ直径5 cmと1 cmの供試体を材令91日まで淡水中と海水中に浸漬した後の細孔構造を示している。図-11の直径5 cmの供試体の細孔構造は淡水浸漬と海水浸漬との間に大きな違いはなく、総細孔容積もほぼ同じである。これに対して図-12の直径1 cmの供試体の細孔構造は淡水浸漬と海水浸漬では、やや異なった様相を示していて、海水浸漬の場合、凍結水量の増加と関連がある半径数百～数千Åの細孔が多くなる傾向にある。このように、海水の作用は露出面にごく近い部分の引張強度の発現を停滞させるとともに、凍結水量を増加させる働きもしている。

図-13は、材令91日まで淡水中あるいは海水中に浸漬した場合の細孔半径の中央値を示したものである。海水の作用を受けることにより、露出面に近くなるほど細孔が粗大になることを明瞭に示している。

4. まとめ

- (1) 乾燥により露出面近傍(露出面から深さ約10mmの範囲)の引張強度の発現は阻害され、炭酸化の反応が生じにくい乾燥条件や深さにおける材令91日の引張強度は、水中養生の40%程度にしか過ぎない。
- (2) 乾燥により露出面近傍の細孔は水中養生の場合に比べて粗大となり、半径が数百～数千Å以上のものが多くなる。これは引張強度の発現を停滞させている原因になると同時に、凍結水量を増加させる働きもしていると考えられる。
- (3) 海水にさらされることにより露出面にごく近い部分(露出面から深さ約5 mmの範囲)の引張強度の発現が停滞する。また、半径数百～数千Åの細孔が多くなり、海水は凍結水量を増加させる働きもしていると考えられる。

なお、本研究は昭和58年度文部省科学研究費補助金(一般研究C)の交付を受けて行われたものである。

参考文献

1) 鮎田耕一, 林正道: 乾燥に伴うコンクリート露出面の強度性状に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第338号, 1983. 10.

2) 鎌田英治: セメント硬化体の微細構造とコンクリートの凍害, コンクリート工学 vol. 19, No. 11, 1981. 11.

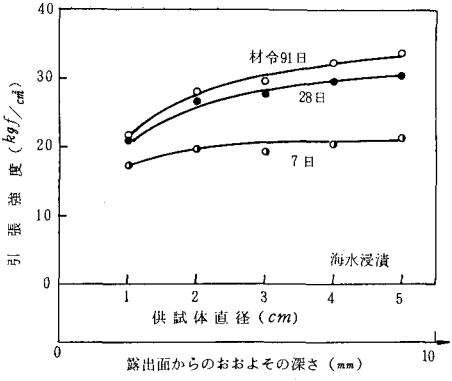


図-10 引張強度 (海水中)

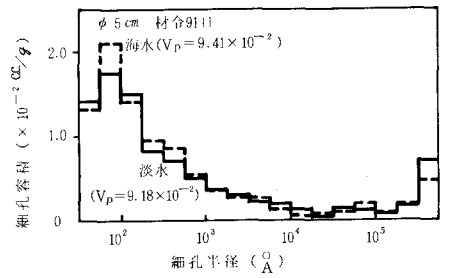


図-11 細孔構造

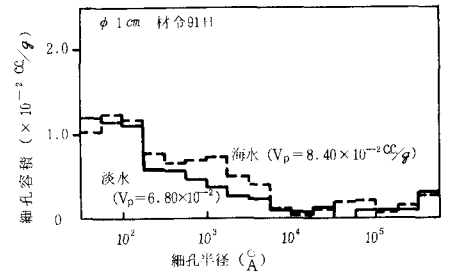


図-12 細孔構造

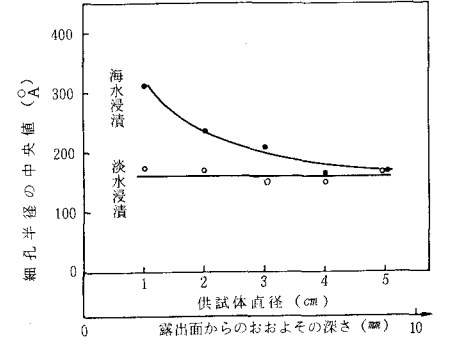


図-13 細孔半径の中央値→