

[87] コンクリート表面部の劣化についての2, 3の実験

正会員 ○ 佐伯 昇 (北海道大学工学部)
 高田宣之 ()
 正会員 藤田嘉夫 ()

1, まえがき

コンクリート表面部分は外部の環境を直接に受けるため コンクリートの耐久性と深い関係をもっている。さらに内的にはブリージングあるいは骨材の影響を受け、内部のコンクリートに比較して不安定な部分でもある。本研究では北海道の海岸コンクリート構造物に多数発生している、凍害による表面部分のはく離被害の原因を究明するために、コンクリート表面部分の強度特性について実験を行ったものである。この表面ははく離の被害は6～9月ころの暑い時期に打設した海岸コンクリートが、一冬期間あるいは早いものでは打設同年の秋から冬の凍結融解を経験したものに発生し、比較的混合セメントを使用した構造物に多く見られる。この原因はセメント、細骨材、粗骨材あるいは混和剤等の性質から来るもの、水セメント比、セメント量あるいは混和剤等による配合からのもの、あるいは施工、養生方法、夏期間の環境の状態から起因するもの等が複雑に関係している。最終的には、これらの因子を含んだコンクリートが海水による水分補給を受け、凍結融解のくり返しを受けることによって、表面はく離被害が発生する。

本実験では凍結融解作用を受ける前の環境あるいは打設後の養生の不充分によって、コンクリート表層部分に劣化が生じ、これが表面はく離の主な原因と考へて、この条件下における表面部の強度特性を求めた。材料はセメントの種類、配合は水セメント比のみを変化させて実験を行なった。さらに、これらの養生方法あるいは環境によって、各々の強度特性を持つコンクリート供試体が凍結融解を受けた場合の、コンクリート表面はく離の被害程度と表面強度特性、弾性定数あるいは強度との相関性について検討した。

2 実験方法

2.1 材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント (比重3.17, $\sigma_s = 16 \text{ kg/cm}^2$)、高炉セメント B 種 (スラグの分量40%, 比重3.05, $\sigma_s = 108 \text{ kg/cm}^2$) およびフライアッシュセメント B 種 (フライアッシュ分量15%, $\sigma_s = 100 \text{ kg/cm}^2$) を用いた。細骨材は諸滑町川向の海砂を用い、粗骨材は諸滑川産の 2.5mm 川砂利および諸滑川産の 4.0mm 川砂利を用いた。その物理的性質は表-1 に示す。配合は目標スランプ5cm、空気量6%として、水セメント比 (W/C) は4.5%, 5.5%および6.0%を用いた。A E 剤 (ピンソル) はセメントの重量の0.05%とした。配合は表-2 に示す。

2.2 供試体寸法および作製

コンクリート表層部の強度の測定は図-1 に示すような $15 \times 15 \times 55 \text{ cm}$ の供試体を用い、ポップアウト法およびくぎ抜き法によった。ポップアウト法の加圧部は図-1 の a 部に示すように、ペニシエープの銅板の中央に穴を開け、この部分に銅パイプを半田付けし、その上から銅板を包むようにゴムの膜を被して、針金および接着剤を用いて銅パイプの付根で固定したものである。銅パイプから伝わってくる油圧によってゴムの膜を膨張させ、コンクリート表層部をポップアウトによって破壊させて

、この部分の強度を調べるものである。Griffith 理論で言うペニシエープドクラックを人工的に作ったものである。

くぎ抜き法は、古くからコンクリートの強度を調べるために用いられた一方法であるが、この場合は表面部分の強度を調べるため図-1 の b 部に示すように、くぎの頭は逆円錐形であり、また埋込み深さも比較的浅いもので、これまでとは違っている。装置の概略は図-2 に示した。図-1 の c 部はシュミットハンマーによる強度試験を行なうためのものである。またこの供試体を用いて動弾性試験も併せて行なった。他に圧縮強度試験用および静的弾性試験用に $\phi 5 \times 30 \text{ cm}$ の円柱供試体を用いた。練りまぜは

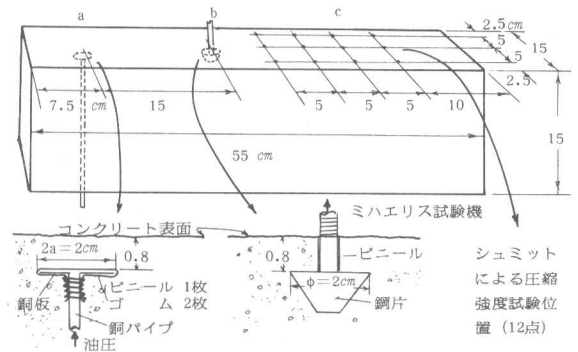


図-1 供試体の形状

強制ミキサーで2分間行ない、鋼製型枠に打設し、パイプレーターで締め固めた。
その後上面をコテにより仕上げた。またフリージングの多いものについては打設後約3時間経過してから仕上げを行った。

2.3 養生および環境

打設後/日は麻袋と、その上にビニールシートを掛けて湿潤養生した。その後空中で乾燥-湿潤の繰返しを、材令28日まで受ける供試体(A)、5日間水中(20°C)で養生され、その後材令28日まで上述の空中で乾湿の繰返しを受ける供試体(WA)、材令28日間水中(20°C)で養生される供試体(W)の3ケースの前環境にさらした。

はく離被害の起っている海岸での8月上旬から9月上旬までの28日間の日最高および日最低気温を測定した結果、それぞれの平均値、 \bar{T}_{max} および \bar{T}_{min} は24.3、15.3°Cであった。同様に相対湿度の日最高および日最低のそれぞれの平均値 \bar{H}_{max} 、 \bar{H}_{min} は91、53%、蒸発量の平均値は4.7mm/日である。またその傾きの日最大値および日最低値の平均値はそれぞれ0.57、0.07mm/hであった。この実験結果を踏えて供試体を空中放置する温度を午前9:00~午後5時までの最高温度を約24°C前後にし、午後5時以降は外気温により最低/6°C前後とした。乾燥室での日最高、日最低温度および相対湿度の日最高、日最低および/日の蒸発量および、その傾きの日最高、日最低について図-3 a, b, c, d に示した。

2.4 実験装置

ポップアウト法によるコンクリート表面の強度を測定する方法は、初めに銅パイプおよびペニシエーブ中の空気を水(水でないペニシエーブに被っている生ゴムが破れる)によつて追出してからオイルジャッキに継ぎ圧力をかける。一方破壊荷重は圧力センサー(容量500Kg/cm², ひずみ4000μ)と連動しているデジタルひずみ計によって目読み、その最大値によって測定した。荷重速度は毎秒0.25Kg/cm²程度である。装置の概略は図-2 a に示す。くぎ抜き法は図-2 b に示すようにミハエリス2重テコ式曲げ試験機のアタッチの部分を改良して、供試体に埋込んだくぎをカッブラーと連結し、加力して破壊荷重を求めた。またシュミットハンマーはN型を用いた。また動弾性係数は、共振法によって縦振動の/次共振周波数を測定して求めた。

3. 実験結果および結論

表-3は全実験データをまとめたものである。σ_cは静的圧縮試験によって求めた2

表-2 配合

配合種類	セメント種類	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 kg/m ³					実測空気量 (%)
				水	セメント	細骨材	粗骨材 5-25	粗骨材 20-40	
N55	N	55	40	126	248	770	758	408	7.0
N60	N	60	40	149	248	770	758	408	4.7
FB45	FB	45	48	123	274	733	784	421	6.0
FB55	FB	55	40	122	222	790	776	418	8.1
FB60	FB	60	40	133	222	790	776	418	7.1
BB55	BB	55	40	128	233	780	768	414	6.5
BB60	BB	60	40	140	233	780	768	414	6.0

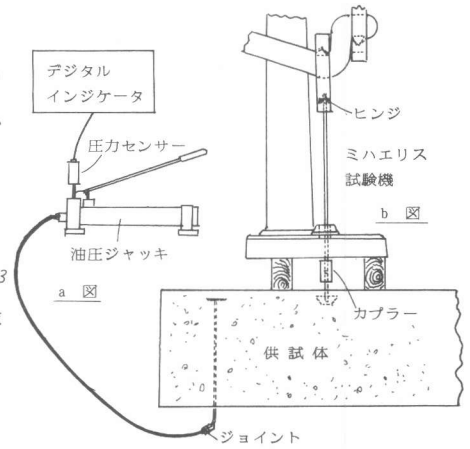


図-2 実験装置の概略図

表-1 骨材の性質

骨材		海砂	川砂利	川砂利
試験項目	単位	5.0 mm	5-25 mm	20-40 mm
粗粒率	—	2.73	6.91	7.30
比重	—	2.60	2.62	2.67
吸水量	%	1.52	1.81	2.62
単重	t/m ³	1.72	1.67	1.67
安定性	%	3.1	6.5	6.7

8日強度で3本の平均値である。P_{0.8} はポップアウト法で求めたコンクリート表面の強度で、埋込み深さが各供試体で変化するので0.8cmに補正している。P_{0.8}は3本の供試体を補正した平均値である。N_{0.8} はきき抜き法で求めたコンクリートの表面の強度で、補正の方法はポップアウト法と同様である。Sc はシュミットハンマーによるコンクリートの圧縮強度で、1.2回の測定値から最大、最小を除いた10個の平均値である。E_sは共振法による動弾性係数で2個の平均値である。Gc はP_{0.8} 荷重より求めた破壊じん性である。h/a が1.0より小さくなると厳密解が難しいので、h/a = 1.05, 1.10, 1.20, 1.30の4点からh/a = 0.8の場合の補正係数Ωを近似した。その値は0.61となつた。ペニシエードクラックの場合のGc は下式となる。

$$G_c = \frac{4 P_{0.8}^2 (1-\nu^2) a}{\pi E \Omega^2} \dots \dots \dots (1)$$

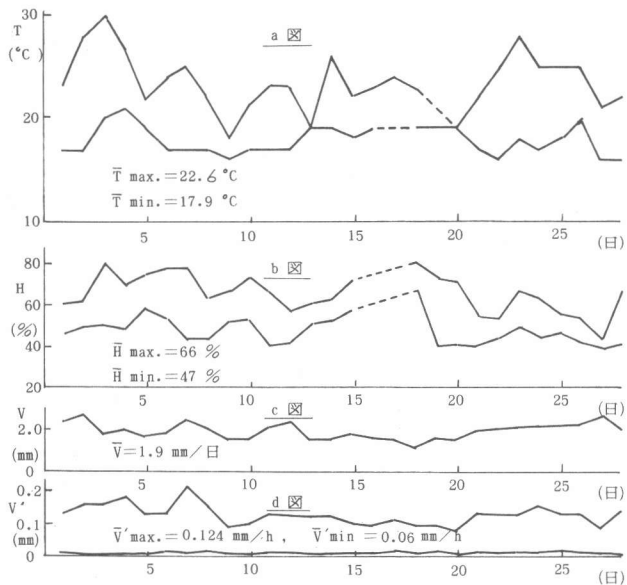


図-3 温度、湿度、蒸発量およびその傾き（日最高、最低）

表-3 強度特性

	$\bar{\sigma}_c$ kg/cm ²	$\bar{\sigma}^*$	P _{0.8} kg/cm ²	P*	N _{0.8} kg/cm ²	N*	Sc kg/cm ²	S*	E _D t/cm ²	E*	Gc kg/cm	G*
N55 A	162	0.68	21.3	0.51	15.4	0.39	133	0.62	259	0.80	0.008	0.35
N55 WA	220	0.92	30.7	0.73	45.1	1.15	196	0.91	296	0.91	0.014	0.59
N55 W	239	1.0	42.0	1.0	39.1	1.0	215	1.0	324	1.0	0.024	1.0
N60 A	140	0.65	24.5	0.58	26.8	0.47	153	0.83	240	0.74	0.012	0.54
N60 WA	192	0.89	40.7	0.96	37.0	0.66	166	0.90	280	0.86	0.020	1.25
N60 W	215	1.0	42.3	1.0	56.5	1.0	184	1.0	325	1.0	0.021	1.0
FB45 A	180	0.63	31.3	0.67	28.5	0.68	154	0.74	240	0.75	0.020	0.66
FB45 WA	276	0.96	39.5	0.85	41.5	0.99	250	0.99	290	0.91	0.027	0.89
FB45 W	287	1.0	46.6	1.0	41.7	1.0	207	1.0	320	1.0	0.030	1.0
FB55 A	116	0.58	20.5	0.44	27.8	0.71	137	0.67	225	0.76	0.011	0.32
FB55 WA	181	0.90	34.2	0.73	39.8	1.02	183	0.90	260	0.88	0.022	0.64
FB55 W	201	1.0	46.6	1.0	39.4	1.0	204	1.0	295	1.0	0.034	1.0
FB60 A	110	0.66	19.4	0.47	18.6	0.59	94	0.68	250	0.83	0.008	0.34
FB60 WA	171	1.02	32.9	0.80	34.0	0.70	97	0.70	250	0.83	0.018	0.78
FB60 W	167	1.0	41.0	1.0	41.4	1.0	138	1.0	300	1.0	0.023	1.0
BB55 A	157	0.69	30.2	0.70	27.6	0.47	—	—	290	0.92	0.016	0.72
BB55 WA	216	0.95	39.8	0.93	39.0	0.66	—	—	285	0.90	0.024	1.07
BB55 W	228	1.0	42.8	1.0	58.9	1.0	—	—	315	1.0	0.022	1.0
BB60 A	125	0.60	20.4	0.53	18.6	0.45	112	0.79	209	0.67	0.010	0.45
BB60 WA	174	0.83	33.4	0.83	34.0	0.82	137	0.79	256	0.82	0.044	1.12
BB60 W	210	1.0	38.6	1.0	41.4	1.0	141	1.0	311	1.0	0.020	1.0

平均値

	(A)	(WA)
$\bar{\sigma}^*$	0.64	0.92
\bar{P}^*	0.56	0.84
\bar{N}^*	0.54	0.86
\bar{S}^*	0.72	0.90
\bar{E}^*	0.78	0.87
\bar{G}^*	0.48	0.91

σ_c^* , $P_{0.8}^*$, $N_{0.8}^*$, S_c^* , E_p^* , G_c^* は各配合で28日水中養生を1.0とした時の養生0日, 5日水中養生の強度特性である。写真1はポップアウト法による破片はく離させた破片で円垂台形の形であった。写真2はくぎ抜き法によるものでポップアウト法とは同じであった。図4はA, WA およびWの環境下におかれたコンクリート供試体を用いて凍結融解の実験($\pm 5^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$ の日/サイクル, 供試体は海砂中に埋め、上面のみから温度を低下させた。実験そのの底部は常に $+2^\circ\text{C}$ 程度を保っている。これはコンクリート構造物の温度分布をシミュレートしたものである)を行った。30サイクルかけた時のはいく離による平均被害深さを縦軸、横軸に $P_{0.8}$ および G_c をと、その相関性を求めたものである。以上の実験から次の結論が得られた。

(1) 0日養生は28日水中標準養生に対して圧縮強度 σ_c では平均44%に低下し、表面強度 $P_{0.8}$ および $N_{0.8}$ では各々56, 54%に低下、非破壊強度 S_c および動弾性係数 E_p では各々72, 78%に低下、ひびわれに対する耐力としての指標となる破壊じん性 G_c は48%に低下することがわかった。0日養生の表面部分での強度低下が大きく、0日養生の σ_c の低下よりさらに低下し、85%程度になること、 S_c および E_p による評価では強度の劣化程度を低くめに見積ること、ひびわれに対する表面部分の劣化が大きいことがわかった。

(2) 各配合における標準養生を基準とした各養生との比はセメントの種類、水セメント比による影響は少なかった。普通ポルトランドセメントの $W/C = 0.55$ を基準として、同配合でセメントの種類による強度の差を比較した結果、圧縮強度ではフライアッシュセメントの場合は80%に低下、高炉セメントの場合低下はほとんどなかった。また表面強度、シュミットハンマー、動弾性および破壊じん性は変動が大きくその傾向は明確でなかった。

(3) 5日水中養生では標準養生に対して σ_c は平均して92%に低下、 $P_{0.8}$ は各々84, 86%に低下、 S_c および E_p では各々90, 87%に低下、 G_c では91%に低下している。表面部分の強度は5日養生の σ_c に比してさらに92%に低下している。5日養生することにより標準養生強度の10~15%の低下に抑えることができ初期養生が重要であることがわかった。

(4) 養生および前環境の違う供試体による凍結融解試験を30サイクル行なった結果、コンクリート表面の粗骨材の上のモルタル部分からはく離が起った。その平均深さを測定した結果 $P_{0.8}$ および G_c とはく離被害の相関性は良く、 $P_{0.8} = 4.5 \text{ Kg/cm}^2$ 以上になると被害が少なくなること、また G_c も 0.03 Kg/cm 以上になるとはく離が少ない傾向を示した。

参考文献

- 1) H.H Bache and J.C Isen, Model Determination of Concrete Resistance to Popout Formation, ACI, Jour. June 1968.
- 2) 佐伯・藤田・鮎田, コンクリートの表面はく離に対する耐力についての2, 3の実験, セメント技術年報, 33, S 55
- 3) K. N. Srivastava and Kripal Singh, The Effect of Penny Shaped Crack on the Distribution of Stress in a Semi-Infinite Solid, Int. J. Engng Sci, Vol. 7 1969.

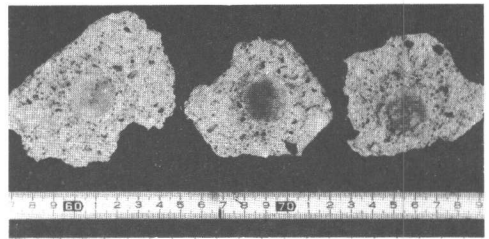


写真-1 ポップアウト法による破片 (F B 6 0 A)

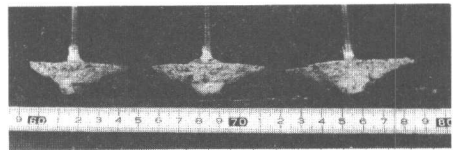


写真-2 くぎ抜き法による破片 (F B 6 0 C)

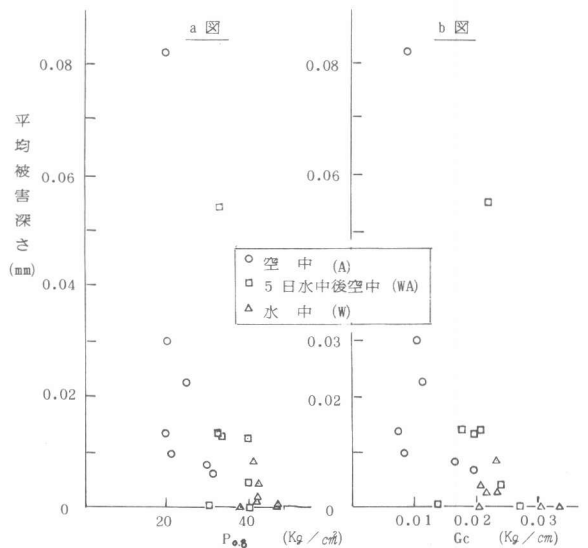


図-4 a, b $P_{0.8}$, G_c と平均被害深さの相関