

鳥取大学 正員 ○林 昭富
鳥取大学 正員 西林 新蔵
大阪セメント 正員 後藤 年芳

1. まえがき

本研究は、コンクリートの耐海水性に関する研究プロジェクトの一環として行なったものである。ここでは、最近特に産業副産物の有効利用、資源の循環利用の面から注目をあびているC種高炉セメントを用いたコンクリートについて、約2ヶ年に及び劣化試験を行ない、練混ぜ水・浸漬水・混和剤・前養生が耐海水性におよぼす影響を検討する。

2. 実験概要

C種高炉セメントの物理的性質、化学成分を表-1、表-2に、コンクリートの配合を表-3に、実験計画表を表-4にそれぞれ一括して示す。打設したコンクリートは恒温室(20℃, R.H.=90%)中に24時間保存した後、脱枠し、圧縮・引張強度用供試体は試験時まで水中養生を施した。促進試験、長期浸漬試験、長期強度用供試体は表-4に示す試験開始材令まで水中養生を施した後、水道水中、海水中浸漬試験、促進試験(水中浸漬24時間と炉乾燥(80℃)24時間を1サイクル)を行なった。物性変化の測定は、試験開始後2ヶ月までは1サイクル毎、以後2ヶ月間は2サイクル毎、それ以後は15サイクル毎の現状状態(浸漬終了時)において行なった。強度試験は材令3日、7日、28日、6ヶ月、1年、1.5年において行った。

3. 結果と考察

(1) 試験結果 圧縮強度試験結果を表-5に、耐海水性指数の計算結果を表-6に、修正耐海水性指数の計算結果を表-7に示す。

(2) 圧縮強度試験による考察

①練り混ぜ水の影響 海水練りコンクリートの場合、初期強度は大きい、長期にわたる強度発現は小さく、28日以後は水練りの方が強度は大きい。②浸漬水、前養生の影響 若材令で海水浸漬したコンクリートの圧縮強度は3ヶ月～6ヶ月以後低下する傾向がある。③使用混和剤の影響 遅延型減水剤を混和すると、プレーンの場合よりも高強度が得られ、長期の強度増進も見られる。④強度の増加過程は、耐海水セメントよりもかなり早く、普通セメントの場合に近い。

表-1 セメントの物理的性質

比重	粉末度 (cm ³ /g)	凝 結		安定性 (煮沸法)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
		始発	終結		3日	7日	28
2.99	3900	4 ^h 14 ^m	4 ^h 58 ^m	良	79	159	359

表-2 セメントの化学成分(%)

ig. loss	insol.	SiO	Al O	Fe O	CaO	MgO	SO	Total
0.3	0.5	27.1	13.3	1.6	48.7	4.1	1.9	98.9

表-3 示 方 配 合

セメントの種類	粗骨材 最大寸法の範囲 (mm)	スラン プの範囲 (cm)	水セ メント比 (%)	細骨 材率 (%)	空気 量 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (cc)
						W	C	S	G	
高炉セメントC種	20	7.5±1	40	34	3.0	184	461	570	1132	
	20	7.5±1	40	34	3.0	162	405	619	1230	Pzz. No.8 4050
	20	7.5±1	40	34	1.5	171	428	627	1137	NL-4000 4000
	20	7.5±1	40	34	1.5	147	368	741	1145	NL-4000 11040

表 4 実験計画表

要 因	水 準
骨材の種類	碎石, 天然砂
水セメント比(%)	40
混和剤	無添加 : N ボゾリス No.8 : P NL-4000 : NL, NL*
浸漬水	水道水:W 海水:S
練混ぜ水	水道水:W 海水:S
試験開始材令	3日:3, 28日:28, 3ヶ月:3M
測定項目 (供試体寸法)	圧縮・引張強度 (φ10×20 cm) 長さ変化, 重量変化 (10×10×40 cm) 動弾性係数変化

NL : NL-4000 と 4000 cc/m³

NL* : NL-4000 と 3000 cc/m³ 等量置換 100 kg

(3) 耐海水性の評価方法

現在測定を継続中であるが、ここでは50~180サイクル(材令100~380日)の結果について若干の考察を加えることにする。促進試験と長期浸漬試験の対応を調べるため、それぞれの条件におけるコンクリートの特性値の経時変化を求め、さらに基準値として長さ、重量は初回の測定値を、動弾性係数(E_0)の変化は最大値を採った。

- i) 特性値の変化による評価
- ii) 耐海水性指数による評価*
- iii) 修正耐海水性指数による評価*
- (4) 特性値の変化による考察

① 練り混ぜ水の影響は大きく、海水練りは水練りに比べて動弾性係数の低下、長さ変化、重量の増加が大きく、この傾向はプレーンコンクリートで著しい。

② 海水浸漬の供試体は全て海水の影響を受け特性値の変化が現われた。

③ NL, Nシリーズでは、養生期間を長くすることは必ずしも耐海水性の改善に効果的とはいえない。一方、Pシリーズでは特性値の変化から養生を長くすることが有効であると判断される。

(5) 耐海水性指数による考察

練り混ぜ水の影響は、海水練りのプレーンコンクリートにおいて著しく、一方、Pシリーズに対する影響は少ない。これは特性値の変化が表わす傾向と一致している。つぎに、海水浸漬の影響はどのシリーズにおいても現われている。現和剤の現和の効果について考えてみると、PシリーズのD.F.は全て1.0以上、またNLの場合でも0.8以上であることから、現和剤を使用することは耐海水性の改善に有効であることがわかる。前養生の影響については、この指数から明うかにすることはできない。

(6) 修正耐海水性指数による考察

海水練り、現和剤、海水浸漬の影響は、(5)の耐海水性指数の場合とほぼ同じ傾向を示すことがわかる。

4. あとがき

高炉セメントの劣化促進試験の結果から、耐海水性に対しては、練り混ぜ水、浸漬水としての海水の影響が特に顕著である。しかし、適当な材料と厳密な配合を選ぶことによって海水の影響はかなり低減されることが予想される。

* 西村ら：耐海水性コンクリートに関する実験的研究，土木学会第32回年次講演集，才5部

表-5 圧縮強度試験結果

供試体 ・種類	3日強度				28日強度				1年強度				1.5年強度			
	長さ	重量	弾性係数	D.F.	長さ	重量	弾性係数	D.F.	長さ	重量	弾性係数	D.F.	長さ	重量	弾性係数	D.F.
NW	3W	144	1.00	1.00	445	1.00	1.00	1.00	530	1.00	1.00	1.00	551	1.00	1.00	1.00
	3S	-	-	-	415	1.00	0.94	0.94	556	1.00	1.00	1.00	545	1.00	1.00	1.00
	3MS	-	-	-	415	1.00	0.94	0.94	565	1.00	1.00	1.00	562	1.00	1.00	1.00
NS	3W	215	1.00	1.00	444	1.00	1.00	1.00	525	1.00	1.00	1.00	557	1.00	1.00	1.00
	3S	-	-	-	417	1.00	0.94	0.94	471	1.00	0.90	0.86	466	1.00	0.84	0.84
	3MS	-	-	-	417	1.00	0.94	0.94	471	1.00	0.90	0.86	466	1.00	0.84	0.84
P・M	3W	173	1.05	1.00	525	1.18	1.00	1.00	666	1.26	0.99	0.87	787	1.21	1.00	1.00
	3S	-	-	-	519	1.25	0.99	0.99	673	1.21	1.01	0.87	786	1.26	0.87	0.87
	3MS	-	-	-	519	1.25	0.99	0.99	673	1.21	1.01	0.87	786	1.26	0.87	0.87
P・S	3W	234	1.09	1.00	504	1.14	1.00	1.00	609	1.16	1.00	1.00	660	1.18	1.10	1.10
	3S	-	-	-	510	1.22	1.01	1.01	539	1.25	0.98	0.86	647	1.38	0.98	0.98
	3MS	-	-	-	510	1.22	1.01	1.01	539	1.25	0.98	0.86	647	1.38	0.98	0.98
NL	3W	149	0.91	1.00	433	0.97	1.00	1.00	558	1.05	1.00	1.00	621	0.95	1.00	1.00
	3S	-	-	-	436	1.03	1.01	1.01	542	0.97	0.97	0.97	591	1.08	0.95	0.95
	3MS	-	-	-	436	1.03	1.01	1.01	542	0.97	0.97	0.97	591	1.08	0.95	0.95
NLS	3W	278	1.29	1.00	397	0.89	1.00	1.00	576	1.10	1.00	1.00	576	1.03	1.00	1.00
	3S	-	-	-	405	0.97	1.02	1.02	540	1.15	0.94	0.83	513	1.10	0.89	0.89
	3MS	-	-	-	405	0.97	1.02	1.02	540	1.15	0.94	0.83	513	1.10	0.89	0.89
NLW*	3W	172	1.05	1.00	448	1.01	1.00	1.00	514	0.97	1.00	1.00	-	-	-	-
	3S	-	-	-	344	0.83	0.77	0.77	505	0.91	0.98	0.98	-	-	-	-
	3MS	-	-	-	344	0.83	0.77	0.77	505	0.91	0.98	0.98	-	-	-	-
NLS*	3W	253	1.18	1.00	409	0.92	1.00	1.00	585	1.11	1.00	1.00	-	-	-	-
	3S	-	-	-	-	-	-	-	585	1.11	1.00	1.00	-	-	-	-
	3MS	-	-	-	-	-	-	-	585	1.11	1.00	1.00	-	-	-	-

(注) P・Mはプレーン・モルタル・コンクリート、P・Sはプレーン・セメント・コンクリート、NLは海水浸漬コンクリートの圧縮強度

表-6 耐海水性指数

供試体 ・種類	動弾性係数 (E_0)				D.F.	海水練り		海水浸漬		現和剤		前養生	
	長さ	重量	弾性係数	D.F.		長さ	重量	長さ	重量	長さ	重量	長さ	重量
NW	3W	164	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3S	164	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3MS	164	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
NS	3W	186	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3S	79	210	1.33	2.4	0.49	0.41	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3MS	79	210	1.33	2.4	0.49	0.41	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P・M	3W	175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3S	175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3MS	175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P・S	3W	175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3S	175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3MS	175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
NL	3W	149	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3S	149	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3MS	149	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
NLS	3W	278	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3S	278	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3MS	278	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(注) (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100) (101) (102) (103) (104) (105) (106) (107) (108) (109) (110) (111) (112) (113) (114) (115) (116) (117) (118) (119) (120) (121) (122) (123) (124) (125) (126) (127) (128) (129) (130) (131) (132) (133) (134) (135) (136) (137) (138) (139) (140) (141) (142) (143) (144) (145) (146) (147) (148) (149) (150) (151) (152) (153) (154) (155) (156) (157) (158) (159) (160) (161) (162) (163) (164) (165) (166) (167) (168) (169) (170) (171) (172) (173) (174) (175) (176) (177) (178) (179) (180) (181) (182) (183) (184) (185) (186) (187) (188) (189) (190) (191) (192) (193) (194) (195) (196) (197) (198) (199) (200) (201) (202) (203) (204) (205) (206) (207) (208) (209) (210) (211) (212) (213) (214) (215) (216) (217) (218) (219) (220) (221) (222) (223) (224) (225) (226) (227) (228) (229) (230) (231) (232) (233) (234) (235) (236) (237) (238) (239) (240) (241) (242) (243) (244) (245) (246) (247) (248) (249) (250) (251) (252) (253) (254) (255) (256) (257) (258) (259) (260) (261) (262) (263) (264) (265) (266) (267) (268) (269) (270) (271) (272) (273) (274) (275) (276) (277) (278) (279) (280) (281) (282) (283) (284) (285) (286) (287) (288) (289) (290) (291) (292) (293) (294) (295) (296) (297) (298) (299) (300) (301) (302) (303) (304) (305) (306) (307) (308) (309) (310) (311) (312) (313) (314) (315) (316) (317) (318) (319) (320) (321) (322) (323) (324) (325) (326) (327) (328) (329) (330) (331) (332) (333) (334) (335) (336) (337) (338) (339) (340) (341) (342) (343) (344) (345) (346) (347) (348) (349) (350) (351) (352) (353) (354) (355) (356) (357) (358) (359) (360) (361) (362) (363) (364) (365) (366) (367) (368) (369) (370) (371) (372) (373) (374) (375) (376) (377) (378) (379) (380) (381) (382) (383) (384) (385) (386) (387) (388) (389) (390) (391) (392) (393) (394) (395) (396) (397) (398) (399) (400) (401) (402) (403) (404) (405) (406) (407) (408) (409) (410) (411) (412) (413) (414) (415) (416) (417) (418) (419) (420) (421) (422) (423) (424) (425) (426) (427) (428) (429) (430) (431) (432) (433) (434) (435) (436) (437) (438) (439) (440) (441) (442) (443) (444) (445) (446) (447) (448) (449) (450) (451) (452) (453) (454) (455) (456) (457) (458) (459) (460) (461) (462) (463) (464) (465) (466) (467) (468) (469) (470) (471) (472) (473) (474) (475) (476) (477) (478) (479) (480) (481) (482) (483) (484) (485) (486) (487) (488) (489) (490) (491) (492) (493) (494) (495) (496) (497) (498) (499) (500) (501) (502) (503) (504) (505) (506) (507) (508) (509) (510) (511) (512) (513) (514) (515) (516) (517) (518) (519) (520) (521) (522) (523) (524) (525) (526) (527) (528) (529) (530) (531) (532) (533) (534) (535) (536) (537) (538) (539) (540) (541) (542) (543) (544) (545) (546) (547) (548) (549) (550) (551) (552) (553) (554) (555) (556) (557) (558) (559) (560) (561) (562) (563) (564) (565) (566) (567) (568) (569) (570) (571) (572) (573) (574) (575) (576) (577) (578) (579) (580) (581) (582) (583) (584) (585) (586) (587) (588) (589) (590) (591) (592) (593) (594) (595) (596) (597) (598) (599) (600) (601) (602) (603) (604) (605) (606) (607) (608) (609) (610) (611) (612) (613) (614) (615) (616) (617) (618) (619) (620) (621) (622) (623) (624) (625) (626) (627) (628) (629) (630) (631) (632) (633) (634) (635) (636) (637) (638) (639) (640) (641) (642) (643) (644) (645) (646) (647) (648) (649) (650) (651) (652) (653) (654) (655) (656) (657) (658) (659) (660) (661) (662) (663) (664) (665) (666) (667) (668) (669) (670) (671) (672) (673) (674) (675) (676) (677) (678) (679) (680) (681) (682) (683) (684) (685) (686) (687) (688) (689) (690) (691) (692) (693) (694) (695) (696) (697) (698) (699) (700) (701) (702) (703) (704) (705) (706) (707) (708) (709) (710) (711) (712) (713) (714) (715) (716) (717) (718) (719) (720) (721) (722) (723) (724) (725) (726) (727) (728) (729) (730) (731) (732) (733) (734) (735) (736) (737) (738) (739) (740) (741) (742) (743) (744) (745) (746) (747) (748) (749) (750) (751) (752) (753) (754) (755) (756) (757) (758) (759) (760) (761) (762) (763) (764) (765) (766) (767) (768) (769) (770) (771) (772) (773) (774) (775) (776) (777) (778) (779) (780) (781) (782) (783) (784) (785) (786) (787) (788) (789) (790) (791) (792) (793) (794) (795) (796) (797) (798) (799) (800) (801) (802) (803) (804) (805) (806) (807) (808) (809) (810) (811) (812) (813) (814) (815) (816) (817) (818) (819) (820) (821) (822) (823) (824) (825) (826) (827) (828) (829) (830) (831) (832) (833) (834) (835) (836) (837) (838) (839) (840) (841) (842) (843) (844) (845) (846) (847) (848) (849) (850) (851) (852) (853) (854) (855) (856) (857) (858) (859) (860) (861) (862) (863) (864) (865) (866) (867) (868) (869) (870) (871) (872) (873) (874) (875) (876) (877) (878) (879) (880) (881) (882) (883) (884) (885) (886) (887) (888) (889) (890) (891) (892) (893) (894) (895) (896) (897) (898) (899) (900) (901) (902) (903) (904) (905) (906) (907) (908) (909) (910) (911) (912) (913) (914) (915) (916) (917) (918) (919) (920) (921) (922) (923) (924) (925) (926) (927) (928) (929) (930) (931) (932) (933) (934) (935) (936) (937) (938) (939) (940) (941) (942) (943) (944) (945) (946) (947) (948) (949) (950) (951) (952) (953) (954) (955) (956) (957) (958) (959) (960