

## 海水作用を受けるコンクリートの長期試験

(第一報 計画, 予備実験と 1/4 年, 3 年試験結果)

来 島 武\*  
小 竹 惟 皓\*  
松 野 操 平\*\*

### 1. ま え が き

この試験は、城ヶ島大橋で行なわれた一連の試験、応力測定と平行して行なわれているものである。

ここでは海水作用を受ける構造物の、材料としてのコンクリートについて長期間における性状の変化を調べるための実験計画と予備実験、および 1/4 年、3 年の試験結果を報告する。

工事概要、応力測定結果などについては、すでに土木学会誌、道路などに発表されている報告、および応力測定委員会の発表を参照していただきたい。

### 2. 海水作用の概要と、城ヶ島大橋コンクリートの配合設計において考慮された対策

図-1 に示すように城ヶ島大橋は海上に架設されたので、構造物全体が多少とも海水の影響を受ける。特に下部工のうち第 5、第 6、第 7 橋脚の水面付近は干満の差 1.95 m に波高(記録により 1 m くらいと推定)を加え、約 3 m の区間ではなほだしく海水の影響を受ける。さらに上部工 P C 桁も潮風にさらされるし、ケーソンは常に海水中にある。これらのコンクリートの配合設計において、われわれは以下に述べる判断と決定を行なった。

コンクリート構造物に対する海水作用は、純然たる化学作用のほかに種々の因子が加わってくる。コンクリートの製造技術すなわち骨材の粒度、配合割合、空気含有量、練りませおよび突き固めの方法、密実度、空気とくに炭酸ガスの作用、コンクリートの吸水作用、海水の温度の変化、干満潮によるコンクリートの膨張収縮、波の衝撃、海草や貝ガラ類の付着の影響、また漂砂や礫などによる磨耗の影響など、現場構造物に対しては、ほとんど解明不可能なほどの因子が作用する。

大きく分けてコンクリートに対する海水の影響は、化学作用と、波浪の衝突、海水の流れにともなう砂、礫の衝撃などによる物理的作用となる。このうち物理的作用に対しては、コンクリートの硬さ、強度、すなわちコ

ンクリートの品質の良否とか施工技術の良否についてコンクリートに対する一般的注意を払えば十分と考えた。

一方化学的作用は、コンクリート自体に対する作用とコンクリート内の鋼材に対する作用に分けられる。

われわれは、コンクリート中の鋼材に対する海水作用について考慮を払えば、コンクリート自体に対しても十分安全であると考えた。また設計においても、コンクリート応力度が許容応力度に対し相当余裕を持つようにしてあったので、われわれの考慮は主としてコンクリート中の鋼材に対する海水作用に集中された。

さてコンクリート中の鋼材に対する作用を考える時、問題になるのは、 $Cl^-$  の浸入である。鋼材がコンクリートで被覆されている場合には、コンクリートはアルカリ性(大体  $pH=12$ ) であるから、鋼材表面は十分アルカリ性となって水酸化第一鉄は安定して赤さび(水酸化第二鉄)はできない。しかしたまたま骨材として使用した海砂などを介しての  $Cl^-$  イオンもしくは外部から浸入する  $Cl^-$  イオンがあると、水酸化第一鉄の被膜は緻密性を失ない腐食の原因となるのである。一般的に日本近海の海水中の  $Cl^-$  イオンは 1.8% 程度といわれている。また鋼材の腐食量は実験的に  $NaCl$  の濃度が 0.5% くらい、すなわち  $Cl^-$  が約 0.3% 濃度のとき最大といわれ、海水の  $Cl^-$  イオンがコンクリートの表面から浸入し 1.8% から 0% まで移動する過程において 0.3% 濃度の  $Cl^-$  となる時、その鋼材の発錆はさけられないことになる。これをさけるためには、

- a) コンクリートを密実な層にすること。
- b) コンクリートの表面を不透水層で被覆すること。
- c) 鋼材のコンクリート表面からの距離を大にすること。

などで、これらはきわめて常識的な結論になる。これらによって  $Cl^-$  イオンの移動を防ぎ、もしくは遮断することが必要である。上述のような観点から、海水作用を受ける部分のコンクリートの配合、その他設計上の諸因子について以下のように決定した。

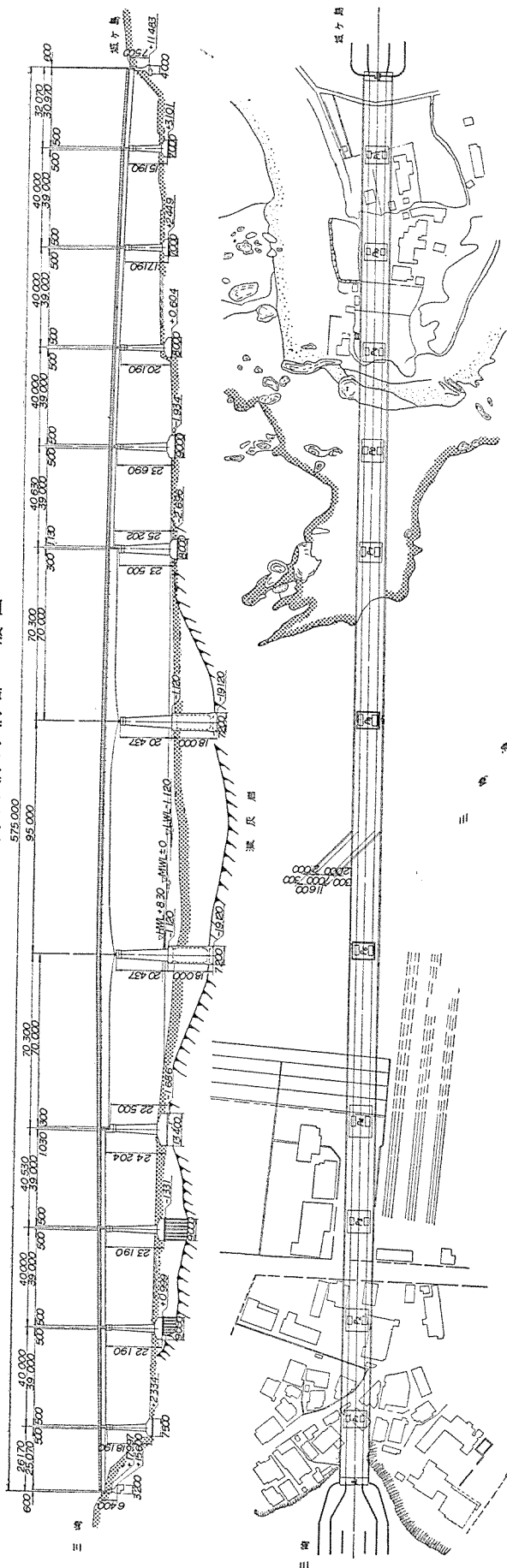
#### (1) セメント

中庸熱セメント(実際にはアサノマスコンセメント)

\* 神奈川県土木部

\*\* 日本道路公団

図一 城ヶ島大橋海橋部一般図



を使用することとした。

理由：中庸熱セメント鉱物組成%は表-1のとおりである。比較として普通セメントも付記した。この組成上の特性から、中庸熱セメントは以下に述べる項目で普通セメントに比しすぐれていると考えた。

表-1 セメントの鉱物組成 (%)

セメント種類	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
中庸熱セメント	37	40	6	12
普通セメント	48	27	10	10

a) 発熱膨張性 もともと中庸熱セメントは、マスコンクリート用としての需要から生れたものである。すなわちクリンカ鉱物中で最も発熱する成分は C<sub>3</sub>A と C<sub>3</sub>S であり、C<sub>2</sub>S と C<sub>4</sub>AF はほとんど発熱しない。すなわち C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>S を小にし C<sub>2</sub>S, C<sub>4</sub>AF を大にすれば発熱量を小さくできる。上表のとおり普通セメントにくらべてこの点での優秀さを期待できる。

b) 収縮 軟練りモルタルによる収縮試験の結果によれば、材令 180 日において中庸熱セメントの乾燥収縮量は、普通セメントにくらべて約 1/2 である。

c) 耐風化性 一般にセメントの風化すなわち加水分解において C<sub>3</sub>A が最も速やかにおかされ、これについて C<sub>3</sub>S がおかされるが、C<sub>2</sub>S, C<sub>4</sub>AF はほとんどおかされない。中庸熱セメントが普通セメントにくらべると C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>S が少ないということは、それだけ耐風化性が優れていることになる。

d) ウォーカビリチー ウォーカビリチーは水和ゲルの多少にも影響される。中庸熱セメントは普通セメントよりもシリカ質に富む関係上、シリカ質のゲルが多量に生成され、ウォーカブルなコンクリートを造ることができるわけである。ケーソン躯体には早強セメントを使用した。これはケーソンの沈下工程から、工事速度を早くしなければならなかったこと、およびケーソン躯体はその頂部が干潮面であり、干満の潮位変動による影響が少ないと考えたこと等によるものであり、同様に PC 桁についても海水作用の影響をさほど大きく考えず、セメント使用量、w/c、スランブをできるだけ小さくし、これで耐海水作用を十分発揮できると考え、早強セメントを使用した。

また中庸熱セメント、早強セメント、普通セメントの 3 種に対する“メリマン氏の耐食試験”のデータをみると、材令 60 日において中庸、早強セメントの浸食係数はほとんど同じで、普通セメントの約 1/3 の値であるといわれている。

(2) 混和材

AE 材 (実際にはポゾリス No. 5) を使用することにした。

表-2 各種 A E 剤水溶液の pH

種 類	ピンゾール			スプーマ 15 号			グレックス			リサポール			ポゾリス No. 5		
	0.2	0.1	0.05	0.2	0.1	0.05	0.2	0.1	0.05	0.12	0.06	0.03	1.0	0.5	0.25
蒸留水に対する重量混入 %	10.00	9.90	8.90	7.60	7.15	6.78	8.46	8.22	7.42	5.85	5.87	5.38	5.38	5.50	5.55
pH (16°C)															

理由：A E 剤としての以下の項目における効果を期待した。

- a)  $w/c$  を下げること、
- b) 多量の可溶性珪酸をふくんでいるので、コンクリート中の水酸化石灰と化合して珪酸石灰となり、これがコンクリート中に緻密な層を形成し、イオンの移動を防ぐものと思われる。

前述したように鉄筋の腐食の点から考えてコンクリートの pH は 7.0 以上（すなわちアルカリ性）であることがのぞましい。各種 A E 材水溶液の pH を表-2 に示す。

これより判断するとポゾリス No. 5 にはいささか疑問があるが、コンクリート自体がアルカリ性であることを考えれば、少量のポゾリス溶液の酸性は完全に中和されるから問題はないと考えた。

(3) 砂

コンクリート用細骨材として馬入川河口より約 1.0 km 上流で採取した砂を使用することにした。

この地点は感潮区間であるので、われわれは東京工大の小島博士に委託し  $Cl^-$  イオンの測定を行なった。その結果を表-3 に示す。

大島技官、狩野・小島両博士等の論文によれば、海砂付着塩分の許容限度を砂の重量あたり 0.01% と押えている。前述の食塩の種々濃度に対する鉄の発錆実験において NaCl 濃度 0.5% のとき最大の発錆を示し、0.045% のとき発錆しないことがわかっているので、一応 NaCl の濃度 0.045% を限界に押さえ、コンクリート配合の一例として  $w/c=65\%$   $S=790$  kg,  $W=215$  kg と仮定すると NaCl は 0.01% となる（混合用水として  $Cl^- = 30$  mg/l と仮定している）。本橋の場合、混合用水の  $Cl^-$  を神奈川県工業試験所に依頼検定の結果、 $Cl^- = 1.08$  mg/l となっているので、標準配合 ( $S=693$  kg,  $W=186$  kg) にあてはめると砂の NaCl 含有許容 % は 0.0120% となり、前表の馬入川採取の砂を満潮時表層のものをそのまま運搬して骨材に使用しても、まずコンクリート中の鉄を発錆させるだけの  $Cl^-$  はふくまれないと目安をつけた。

(4) 鋼材のかぶり

鉄筋コンクリート標準示方書その他を参考とし、鋼材

純かぶりを 10 cm とした。

(5) コンクリート ミキサ

17 切バックミル型ミキサを採用することにした。

3. 試験の目的

われわれはこの実験において、配合、鋼材かぶりをパラメータとして、テストピースを、構造物の最悪条件の部分と同じ位置に長期間保存し、その性状の経年変化を調べることにした。

この結果より海水の影響を受けることを考慮して、判断決定したコンクリートの配合が、実際にどれほど効果があったかを知り、同時に将来の海中構造物におけるコンクリートの配合設計における帰納的判斷の資料を提供することが実験の主目的である。

また長期間後のコンクリートの性状の変化はコンクリート構造物の安全率を考えると一つの要素であるから、これを確実につかめば PC, RC を問わずコンクリート構造物一般において合理的な安全率を決定する一助ともなる。なおコンクリート実体の試験および、これとともに行なう鉄筋の引抜き試験の結果を総合して、城ヶ島大橋本体の材料としてのコンクリートが、実際にそのときいかなる性状にあるかを知りうるのは、もちろんのことであるが、同時に PC 鋼材の腐食に対してある程度の指針を出しうらと思う。

今後 PC 構造物は海水作用その他の化学変化を受ける場合にも大いに使用されることと思われる。「このような場合にも PC 構造物は安全である」という資料をそろえておくことは、この方面への発展に不可欠なことである。この実験によってこれらの資料の一部を提供することが、この実験の従目的である。

4. 実験の大要

以上の目的に従ってコンクリートの性状変化を知るためのテストピース 175 個、コンクリート中の鋼材の変状を知るためのテストピース 106 個を作成した。これらのテストピースには通し番号がつけられ、各テストピースについて表-4 に一例を示すようなデータシートを作っている。

テストピースのグループ分けおよび各グループごとのテストピースの個数は、次に述べる方法で決定した。

(1) 解析する上で一定項とみなしたもの

- a) テストピース作成時の管理の程度

テストピー

表-4(a) グループテストピースのデータシート (一部)

NO	使途構造物	採取年月日	打設時 気温(°C)	同天候	配合	スランプ (cm)	空気量(%)	テストピース 重量(kg)	テストピース 固有震動数	動弾性 係数( $\frac{kg}{cm^2}$ )	混合法
1	P5.6ケーソン	33. 7. 20	9.4 6.2 2.7	晴	C	7.7	1.5 2.0	13 00	6 650	$38.5 \times 10^4$	手練
2	"	"	"	"	"	7.6	"	13.00	6 770	39.4	"
3	"	"	"	"	"	8.6	"	12.98	6 600	38.0	"
4	"	"	"	"	"	18.0	2.5 2.1	12.80	6 770	38.7	バックミル ミキサー
5	"	"	"	"	"	12.0	"	13.10	6 990	43.1	"
171	ケーソンや埋	33. 6 30	29.0 29.0 23.0	晴	D	17.5	—	12.58	4 850	$20.0 \times 10^4$	バックミル ミキサー
172	"	"	"	"	"	"	—	12.66	4 880	20.4	"
173	"	"	"	"	"	"	—	12.70	4 930	20.8	"
174	"	"	"	"	"	"	—	12.74	4 950	21.0	"
175	"	"	"	"	"	"	—	12.68	4 870	20.3	"

表-4(b) グループテストピースのデータシート (一部)

NO	使途構造物	採取年月日	打設時 気温(°C)	同天候	配合	スランプ (cm)	空気量(%)	混合法	カブリ (cm)
1	P5.6ケーソン	32. 7. 20	9.4 6.2 2.7	晴	C	5.6	1.5 2.0	手練	10.0
2	"	"	"	"	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	"	5.7	"	"	"
4	"	"	"	"	"	"	"	"	"
5	"	"	"	"	"	1.7	2.5 2.1	"	"
102	P5.6橋脚	33. 5. 13	9.0 8.0 6.0	晴	A'	6.0	—	ミキサー	10.0
103	"	"	"	"	"	"	—	バックミル ミキサー	10.0
104	"	"	"	"	"	"	—	"	"
105	"	"	"	"	"	"	—	"	"
106	"	"	"	"	"	"	—	"	"

スはすべて実構造物を打設中に練りたてのコンクリートより採取した。予備実験としてコンクリートの品質管理試験を行なった。変動係数その他は表-5のとおりである。

表-5 品質管理の結果

配合	平均強度 $\bar{x}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	標準偏差 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sqrt{\frac{n}{n-1}}$	変動係数 $V_2$ (%)	品質 $\sigma_{28}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	406	43.0	1.010	10.7	372
A'	359	38.8	"	10.7	328
A''	380	38.4	"	10.0	352
B	318	16.1	"	5.0	301
B'	375	72.0	"	19.0	320
B''	390	78.0	"	19.8	328
C	298	9.0	"	3.0	290
C'	299	43.0	"	14.2	268
D	81	20.0	"	25.0	60
E	48	14.6	"	30.6	30

**b) テストピースの作成, 養生および長期的な保存環境** テストピースは実際の構造物の条件とできるだけ一致させるようにした。すなわち採取2日後キャッピング, ナンバリングを施したのち脱型, 24 時間散水養生, 10 日間空気中に放置し所定の海水中に投入した。保存の位置は第3橋脚のケーソン上であり, ここに図-2に示すように保管のためのわくを作り番号順に並べた。保管地点の環境の変化(海水温, 気温, 水面上に露出する日数等)を図-2, 3に示す。

(2) 解析する上でパラメータとして取り扱った事項

a) コンクリートの変状を知るためのテストピースにおいて(グループI) 配合(セメントの種類, 使用量,  $w/c$ ,  $G/S$ , 混和剤使用の有無, スランプ等)テストピースは配合別に表-6に示すように10グループに分けられた。ここで{(A,B)C}-{(A',B'),C'}の対比でポゾリスの効果(A,B)-(A'',B'')でセメント種類による

差, (A'')-(B'')-(D)-(E)の対比ではセメント使用量の違いの効果(あるいは  $w/c$  の効果)を確かめようとしたものである。なお各配合ごとに若干個ずつ手練りのテストピースも作成してある。本報告ではふれませんが, これらを対比することによって, ミキシングによる相違を検討できよう。

b) コンクリートの鋼材の変状を知るためのテストピースにおいて(グループII) コンクリートの配合および鋼材かぶりの組合せをパラメータとして6グループに分けた。

(3) 解析する上で独立変数として取り扱ったもの  
時間(年): 実験は1/4(91日), 3年, 9年, 27年, 81年の5回に分けて行なうこととした。時間の決定で

写真-1 テストピース保管地点(第5橋脚付近)全景

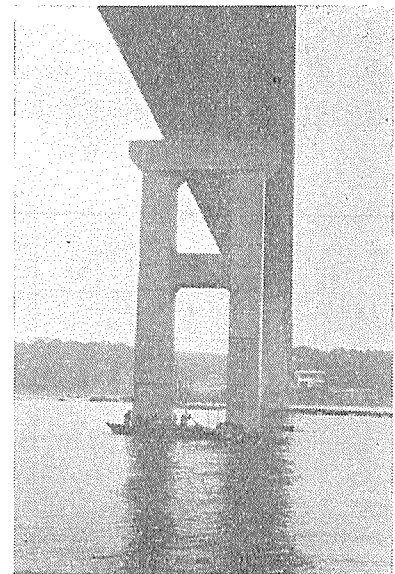
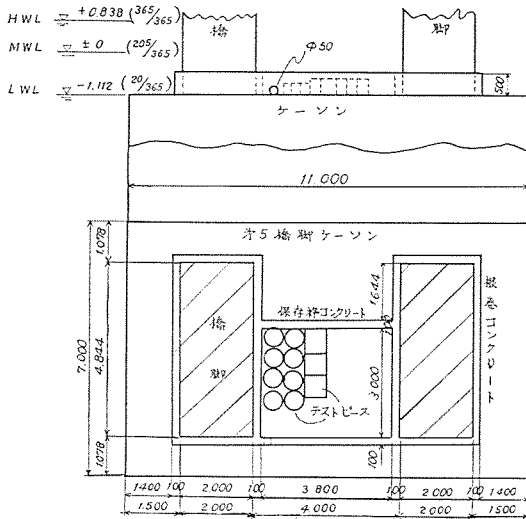
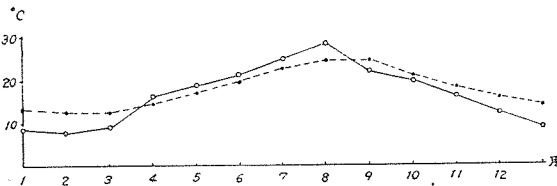


図-2 テストピース保管の環境



注：カッコ内数字は1年（365日）中に各潮位まで下がる延べ日数

図-3 テストピース保存地点付近の気温および海水温の月変化



- 注：1. ○—○ 気温    ····· 海水温度
- 2. 測定時間 毎朝 10 時、昭和 24 年～27 年の 4 年間の平均
- 3. 水温はテストピース保存地点より 200 m 付近水面下 1 m の値
- 4. 神奈川県三崎水産試験所統計資料より

は将来セミログ グラフにプロットして解析することおよび外国、日本の同種試験の例<sup>1)</sup>を考慮したものである。

(4) 解析する上で従属変数として取り扱ったもの

a) コンクリートの変状を知るための実験では圧縮強度、動弾性係数、テストピースの重量    コンクリート構造の設計において、最も基本的な要素として上記の3種目を選んだ。

b) 鋼材の変状を知るための実験では、埋込鉄筋の最大引抜抵抗    埋込鋼材の変状を鉄筋引試験により見出すことにした。

(5) 記録のみにとどめ、解析上の要素としては無視したもの：テストピース採取時の気温および天候。

5. テストピースの作成について

(1) グループ I のテストピース

JIS φ15×30 モールドを使用し、同規定にしたがって作成した。ナンバリングはキャッピング モルタルに数字をほりこんで、これに赤色プラスチック塗料を流し込んで行なった。個数は一回の試験に対し3個のテストピースを使用することとし、これにロスを見込んで1パラメータにつき 16 個作成した。

(2) グループ II のテストピース

ASTM の暫定基準を参照としたモールドを使用した(図-4 参照)。鉄筋の突出部コンクリート埋込部に対し腐食する度合を相対的にできるだけ小さくするため、リッチなモルタルでカバーした。またコンクリートとモルタルの打継目からの海水の浸入を防げるように、ここをプラスチック塗料でシールした。

一回に3個のテストピースを使用するが、実験値のちらばりがグループ I の場合より大きいので、このような場合には、さらに1個のテストピースを使うことを考えた。これにロスを見込んで1グループに17個作成した。

6. 実験結果

(1) 予備実験

予備実験として、コンクリートの品質管理試験(前述)と(28日強度)一(動弾性係数)の検定試験を行なった。 $\sigma_{28}-E_d$  検定の結果は図-9に示されている。

(2) 1/4年(91日)試験

テストピースの材令が91日に達したとき、グループ I の全テストピースの動弾性係数と重量を測定した。またその中から無作意的に選ばれたものにつき圧縮強度試験を行なった。グループ II では、その中から無作意的に選ばれたテストピースで鉄筋引抜試験を行なった。

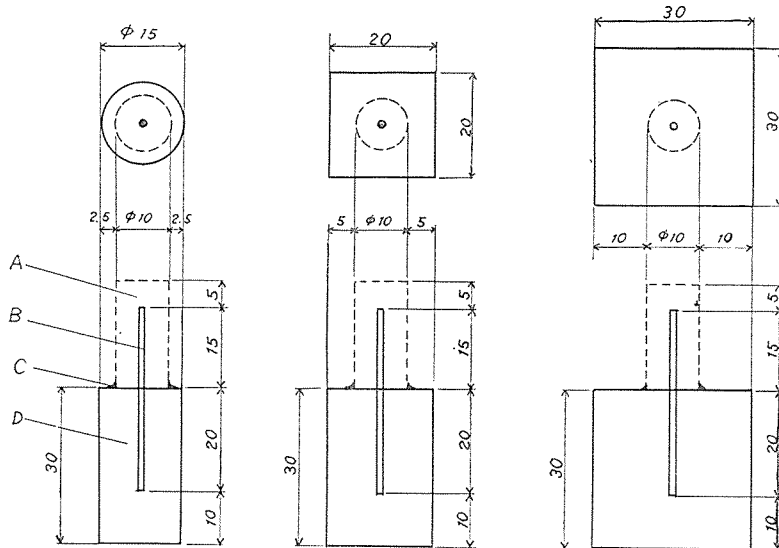
(3) 3年試験

保存されているグループ I, II のテストピース中より

表-6 示方配合表

記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	単水量 W(kg)	単位セメント量 C(kg)	水セメント比 w/c(%)	絶対細骨材率 S/A(%)	単位細骨材量 S(kg)	単位粗骨材量 G(kg)	単位 AE 剤量 (cc)	セメント種類	設計で目標とした $\sigma_{28}$
A	35	6~8	3	131.6	345.6	40.0	33.3	643	1,286	6,192	アサノマスコン	300
A'	"	"	—	154.8	360.0	43.0	33.3	643	1,286	—	"	"
A''	"	"	—	"	"	"	"	"	"	—	アサノ普通	"
B	"	6~8	3	130.1	319.6	42.7	35.7	697	1,254	6,400	アサノマスコン	"
B'	"	"	—	153.0	340.0	45.0	34.5	673	1,278	—	"	"
B''	"	"	—	"	"	"	"	"	"	—	アサノ普通	"
C	"	12~14	3	153.2	319.6	50.0	37.0	695	1,180	6,400	チチブ早強	290
C'	"	"	—	180.2	340.0	53.0	35.7	671	1,208	—	"	"
D	"	18~22	—	200.0	220.0	91.0	45.4	876	1,051	—	アサノ普通	50
E	"	10~12	—	179.0	170.0	105.0	46.5	942	1,083	—	"	30

図-4 グループ II のテストピース寸法図



注 A : モルタル (C : S = 1 : 1.5, w/c = 30%, ポゾリス No. 5)  
 B : 鉄筋 (φ13, SS41)  
 C : プラスチック シール D : コンクリート

写真-2 引き上げられたテストピース



写真-3 テストピース引き上げ状況

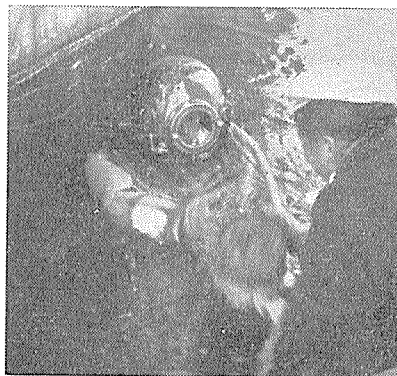


写真-4 (a) 鉄筋引抜き試験状況 (正面)

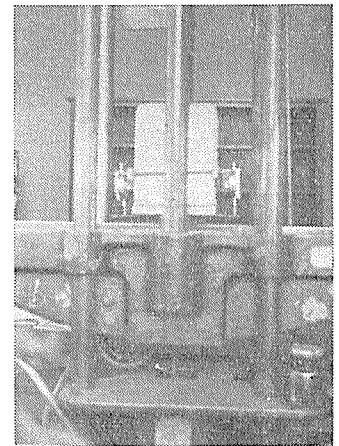
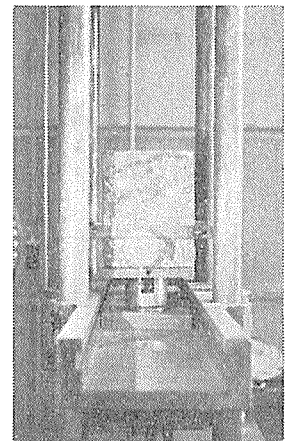


写真-4 (b) 同上 (側面)



無作意的に抽出されたものについて、おのの動弾性係数、重量の測定、圧縮強度試験および鉄筋引抜試験を行なった。テストピースにはいちじるしく貝ガラが付着していたが、これを完全に除いたのち実験を実施した。

テストピースの抽出は満潮時に潜水夫を使って行なわれた。ゆえに実験はテストピースが水で飽和された状態で行なわれている。鉄筋の引抜試験の方法を 図-5、写真-4 に示す。1/4 年、3 年の実験結果を図-6~10、表-7~8 に示す。

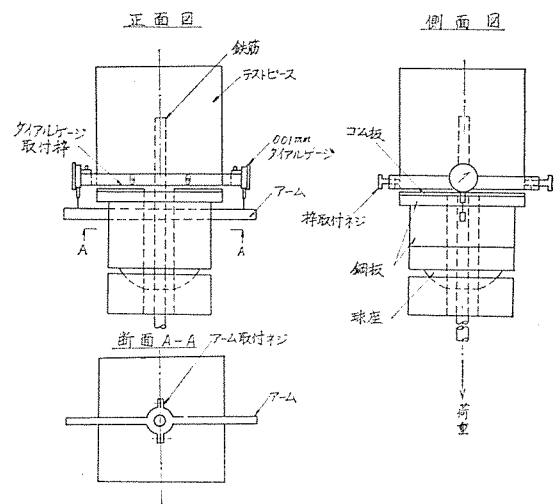
7. 考察および結論

(1) グループ I の試験結果について

a) 圧縮強度の経年変化は 図-6 および 表-7 のようになった。ここで 1/13 年 (28 日) 強度は標準養生を行なったものについての平均強度をとっている。これは 28 日強度をすべての規準にとる関係でデータがあまりちらばると整理に困るからである。

ここで注意すべきことは、早強セメントを使用した配合のもので強度の増加率が小さいことである。われわれ

図-5 鉄筋引抜き試験法



はプレレスト コンクリートの設計において普通セメントを使った場合  $\sigma_{\infty}/\sigma_{28} = 1.15$  と仮定することがある。3 年までの結果ではこの仮定は、この場合大きすぎるのではないかと推量される。

図-6 時間-圧縮強度曲線

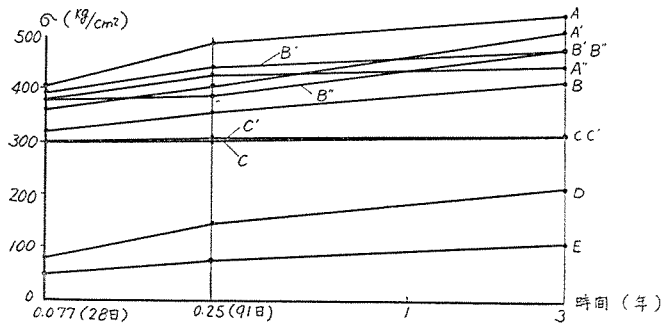


図-7 時間-動弾性係数曲線

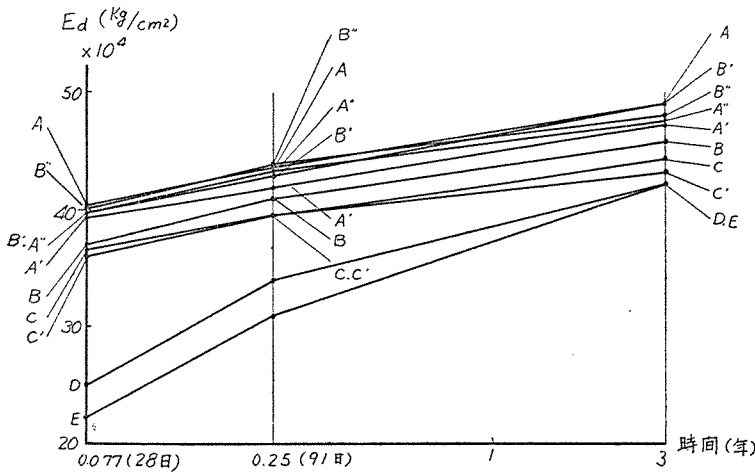
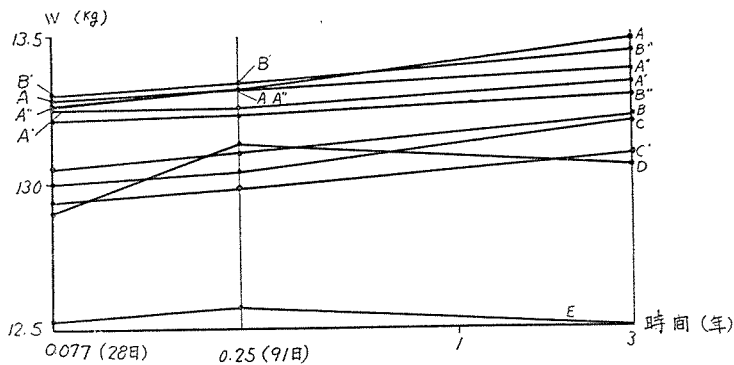


図-8 時間-供試体重量曲線



b) 動弾性係数の経年度化は図-7および表-7に示されている。動弾性係数もすべての配合について時間とともに増加した。PCにおいてもまたRCにおいてもPC鋼材あるいは鉄筋の弾性係数は、時間とともに変化しない。コンクリートのみ弾性係数が増加することになる。このことは設計上の $n$ 値が長期間後には不適当となるかも知れないことを示す。すなわち、コンクリートの強度の増加より弾性係数の増加がはなはだしく大きいときは、設計時と同一荷重に対してコンクリートの応力度が大きくなることになる。一方強度が増加していない場合には不安を生ずる。PCで普通に使用される早強セメントを用いた配合(C,C')で若干この傾向が見られるか

ら海中コンクリートで早強セメントを使用することは少し疑問があるかも知れない。

$E_d-\sigma$ の関係を時間、配合をパラメータとして示したのが図-9である。 $E_d-\sigma$ カーブは一定でなく時間とともに上にずれてくるのがわかる。また、配合C,C'で上方への勾配が最も大きいことがわかる。

c) テストピース重量の経年変化を図-8に示す。配合Eを除きすべて重量が増加している。これは水和反応がまだ止まっていないことを示すと解される。配合Eは波浪の影響で磨耗したものと思われる。3年後のテストピースの比重は最大がA配合の $2.54 \text{ t/m}^3$ 、最小がE配合の $2.36 \text{ t/m}^3$ となった。このことは設計上のPC用コンクリートの死荷重の仮定( $2.4 \text{ t/m}^3$ )が長時間後には適当でなくなる可能性を示す。

以上を総合すると全般的に次のことがいえる。

- ① コンクリートの強度は全配合について増加している。
- ② 動弾性係数も同様。ただし両者の増加を比較して後者がより大きいケース(配合C,C')では設計上の $n$ 値を慎重に決めるべきである(配合D,EはPC用とならない)。
- ③ 配合でEは磨耗が大きかったので、波浪を受けるコンクリートではこれより配合を貧にすることはできない。PC用コンクリートの死荷重は $2.4 \text{ t/m}^3$ では小さすぎる。
- ④ すべての要素について配合はAが最もすぐれている。
- ⑤  $\sigma_\infty/\sigma_{28}$ は3年までの結果から推定するに1.15より相当大きくなる可能性がある。

表-7 圧縮強度( $\sigma$ ) 動弾性係数( $E_d$ ) 重量( $W$ )の経年変化

配合	$\sigma(\text{kg/cm}^2)$			$E_d \times 10^{-4}(\text{kg/cm}^2)$			$W(\text{kg})$		
	1/13年	3年	比	1/13年	3年	比	1/13年	3年	比
A	406	544	1.34	40.3	49.3	1.22	13.28	13.47	1.01
A'	359	510	1.42	39.5	47.3	1.20	13.25	13.33	1.00
A''	380	448	1.18	39.8	47.9	1.20	13.27	13.38	1.01
B	318	416	1.31	36.0	45.8	1.27	13.05	13.22	1.02
B'	375	482	1.28	39.8	49.6	1.25	13.30	13.44	1.01
B''	390	474	1.21	40.1	48.0	1.20	13.21	13.29	1.01
C	298	322	1.08	35.8	44.4	1.24	13.00	13.20	1.02
C'	299	322	1.08	35.5	43.4	1.22	12.94	13.09	1.01
D	81	213	2.13	25.0	42.3	1.69	12.90	13.06	1.01
E	48	109	2.28	21.3	42.3	1.99	12.53	12.51	1.00

図-9 圧縮強度—動弾性係数のグラフ

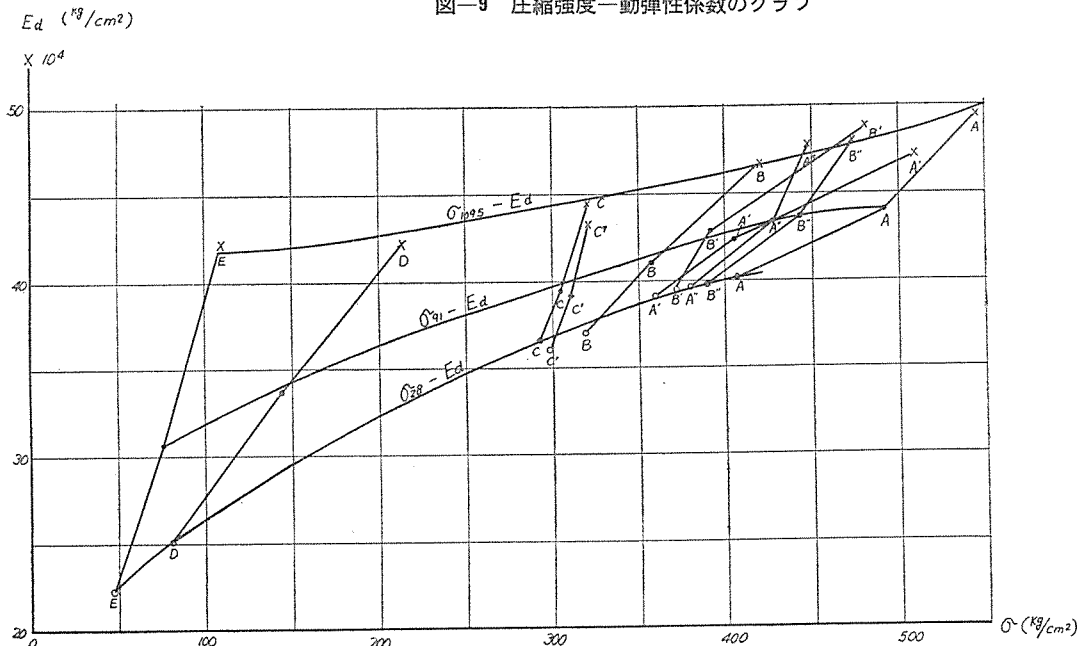
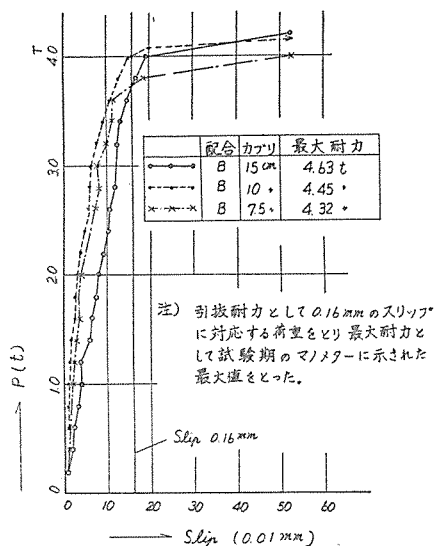


表-8 配合かぶり別の鉄筋耐力の経年変化

配合	かぶり (cm)	耐力 (t)		P 1/4 年 / P 3 年
		1/4 年	3 年	
A	10	2.65	3.92	1.48
A'	"	2.61	3.22	1.23
B	15	3.27	3.73	1.14
	10	3.27	4.03	1.23
C	7.5	3.27	3.72	1.14
	10	3.00	3.73	1.24

図-10 鉄筋の荷重—すべり曲線 (3 年) の一例



(2) グループ II の試験結果について

この実験は技術的に相当むつかしく、実験結果のちらばりも多かった。しかし表-8 より判断して3年までの結果では定性的に次のことがいえよう。

- ① 各パラメータとも引抜耐力は時間とともに増加している。
- ② 鉄筋の引抜耐力の増加は3年までの結果ではかぶりに関係しない。
- ③ かぶりが一定の場合、耐海水作用を最も深刻に考えた配合が最も引抜耐力の増加率が大きい。

8. あとがき

このような試験には多くの困難がともなう。すなわち実験を通じて操作を一定にする問題<sup>2)</sup>、資料の保管引継ぎの問題、実験の継続年数と人間の寿命のバランスの問題、等がある。しかし本実験の計画者として、これの完遂をあらゆる努力を払って実現したいと考えている。本実験の計画にあたり直接貴重な御助言を戴いた故吉田徳次郎博士、東京工大の小島 武博士、建設省 大島久次技官、また本実験の実施にあたり御指導と御便宜を戴いた横浜国大建築学科 田口教授に厚く感謝の意を表するとともに次回 (1967 年 1 月) 実験においても変らぬ御援助を期待する次第である。

参 考 文 献

セメントコンクリート 1956.4  
 海砂の鉄筋コンクリート工事への利用に関する研究 (その 1 ~ 4) 大島・狩野・小島  
 1) 明治 36 年小樽築港防波堤に工事における 70 年の長期試験 (広井 勇博士)  
 油壺におけるモルタル引張強度 100 年試験 (東大)  
 米国における 25 年, 50 年, 100 年の長期試験  
 2) 圧縮, 鉄筋引抜試験機アムスラー型 (横浜国大)  
 動弾性係数測定器 ST-3 型 (芝浦工大)

1961.5.15・受付