

[20] 海岸および内陸放置による海砂使用コンクリート中の鋼材の腐食に関する研究

正会員 渡辺 明 (九州工業大学 工学部)
 正会員 ○ 高山 俊一 (九州工業大学 工学部)
 助 清 満 昭 (九州工業大学 大学院)

1. まえがき

コンクリート用材料として海砂の使用率が年々増加し、とくに西日本地区では既に70~90%にも達している¹⁾。これに対し、土木、建築両学会では海砂中の塩分がコンクリート中の鋼材の発錆を促すとして、塩分の許容限度を示している。しかしながら、この許容値は確たる根拠によって定められたものでなく、一応急場的に定められたものである。そのため、現在多くの研究者によって塩分量と鋼材の発錆に関する研究がなされているが、海砂中の許容塩分量を定めるという最終的な目的を達成する成果を得ることはかなり困難なようである。そこで筆者らは、通常の構造物に近い条件で、考えられる要因をすべて考慮した総合的研究を計画し、昭和53年の夏から冬に供試体を作製し、以後実験を行なってきた。作製後3年経過したので、これまでの結果のうち、PCはりについて報告する。

2. 試験概要

供試体の概要を表-1に示す。表中のPCはりの試験については、¹⁾変化させた要因として、かぶりが15、25、35、55および70mmの5種類、塩分量が0.03、0.1、0.5、1.0%および海砂(0.065%)の5種類、放置場所が内陸(北九州市)、海中(供試体が常時海中に没している状態)および海岸(供試体が満潮時には海中に没し、干潮時には空中に露出する状態、鹿児島湾(写真-1))の3箇所、放置期間は1、3、6、9および12年などを考慮した。海砂の塩分量はその値を変化させることが困難なため、代りに川砂を用い、海砂の塩分量に相当するだけの海水を単位水量と置換して加えた。また、塩分量1%のコンクリートでは、さらに不足するために塩化ナトリウム(試薬)を混入した。鋼材はPC鋼より線SWPR2を通常使用されている表面状態で用い、有効緊張力800Kgが導入されている。コンクリートの標準配合とまだ固まらないコンクリートの諸性質の一部を表-2に示す。表-3には、PC

はりの圧縮強度を示す。

2.1 硬化コンクリート中の塩分量測定方法
 塩化物の測定は、操作が容易でかつ高精度の測定値が期待できるモール法を採用した。本実験では試料を粉砕しなければならぬこと、塩分抽出液が強アルカリであ

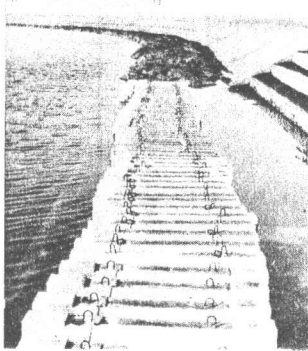


写真-1 供試体の海中、海岸放置状態

表-1 各種供試体の概要

供試体	RCはり	RC柱	PCはり
寸法(mm)	150×150×200	150×150×600	150×150×1200
鋼材のかぶり(mm)	15, 35, 55	15, 25, 35, 55, 67	15, 25, 35, 55, 70
鋼材の種類	異形鋼棒 SD35, D13		PC鋼より線 2.9mm2本より
コンクリートの種類	土木(D)および建築用(K)	土木(D)	PC用
塩分量(%)	0, 0.1, 0.3, 0.5 RC柱土木用では海砂(0.14%) および防錆剤を加えたものも作製。		0.03, 0.1, 0.5, 1.0 海砂(0.065%)
放置場所	内陸	内陸・海岸	内陸・海岸・海中
放置期間(年)	1, 3, 6, 9, 12		

注1) 土木用…設計基準強度 240 kg/cm² 目標強度 275 kg/cm²
 建築用…設計基準強度 210 kg/cm² 目標強度 240 kg/cm²
 PC用…設計基準強度 500 kg/cm²

表-2 コンクリートの示方配合とまだ固まらないコンクリートの諸性質

コンクリートの種類	水セメント比	目標スランジ(cm)	単位数(Kg/m ³)					スランジ(cm)	空気量(%)	ブリージング率(%)	コンクリート温度(℃)
			セメントC	水W	細骨材S	粗骨材G	混和剤(%)				
土木	55.6 45.0	10±1	313	174	782	1133	0.783	9.1	3.2	7.4	9.5
建築	61 48.5	19±1	328	200	793	999	0.819	20.0	4.3	8.3	10.5
PC	37 43	3±1	460	164.3 (6.3)	721	1133	1.15	3.0	2.4		29.8

(注) 上段…水セメント比, 下段…細骨材率

表-3 圧縮強度および弾性係数

材令	28日		1年		3年	
	圧縮強度(kg/cm ²)	弾性係数(×10 ⁴ kg/cm ²)	圧縮強度(kg/cm ²)	弾性係数(×10 ⁴ kg/cm ²)	圧縮強度(kg/cm ²)	弾性係数(×10 ⁴ kg/cm ²)
塩分量(%)						
0.03	455	39.2	551	39.2	614	35.8
1.0	469	30.5	568	30.5	566	31.9
海砂(0.065)	529	36.0	563	36.0	537	39.0

るため、塩化銀の滴定に際して抽出液を中性化しなければならないことなどから、試料の調整を以下の要領で行うこととした。

(1) 供試体を2および3等分に切断した後、図-1に示すように供試体中央部分から海中、海岸各放置供試体で25等分、内陸放置で9等分に切断する。一試料はコンクリート表面部分を除いた200~300gを採取する(組骨材を含む)。

(2) コンクリート塊の全量が1.2mmふるいを通すように粉砕する。この時、粗骨材を取り除いてはならない。

(3) 105℃で約24時間乾燥し、絶対乾燥状態になった試料約100gを精秤しW'gとする。

(4) 試料に蒸留水を加え、時々攪拌しながら90℃で約3時間湯煎する。その後室温まで冷却し、抽出液をろ過する。

(5) pHメータで抽出液のpHを測定した後、同液に希硝酸を過剰添加し、炭酸ナトリウム溶液を加えてpH7とする。この抽出液の全重量を測定しW''gとする。

(6) モール法によって抽出液の塩素イオンを滴定する。

(7) 試料に含まれるNaClとしての塩化物重量百分率p'％は次式で求められる。

$$p' = 0.00584 \frac{W'}{W''} \left(\frac{A}{W} - \frac{B}{100} \right) \times 100 (\%)$$

ここに、W：試料の絶乾重量(g), W'：抽出液の全重量(g), V：滴定に要した抽出液の量(cc), A：滴定に消費した1/10規定硝酸銀溶液の量(cc), B：抽出に用いた水100ccの塩素イオン定量に消費した硝酸銀溶液の量(cc, 本実験では0.27ccとした)。

コンクリート中の塩分重量百分率が判れば、砂の絶乾重量に対する塩分重量百分率pは、次式で求められる。

$$p = p' \times \frac{\text{コンクリートの絶乾重量}}{\text{砂の絶乾重量}} (\%)$$

2.2 発錆量の定量的表示方法

錆の量を定量的に表わす方法は、実験者によって種々異なっているが、主に発錆面積率および錆による鋼材の重量減少率の各測定などが実施されている。PC鋼線では付着力増加のため、打設前にあらかじめ発錆させるので、打設前後の錆の区別が難し

いことおよび個人誤差が大きいことなどのため、面積率の測定は途中でとりやめた。したがって下記の3方法によって錆の程度を判断した。

(1) 重量減少率 酸洗い抑制剤を加えた希塩酸中に鋼材を浸し、PC鋼材では90℃、7分間煮沸して錆を除去する。重量減少率は錆の重量を鋼材のもとの重量で除した百分率で表わす。

(2) 孔食深さ 酸洗した鋼材表面を観察し、孔食のあるものについて、マイクロメータを用いてその深さを測定する。

(3) 最大引張荷重 供試体中から取り出した錆付き鋼材(長さ約30cm)をそのままの状態で行張試験を行い、最大引張荷重を測定する。

3. 硬化コンクリート中の塩分量とその分布状態

3.1 内陸放置供試体

図-2には材令1年および3年における

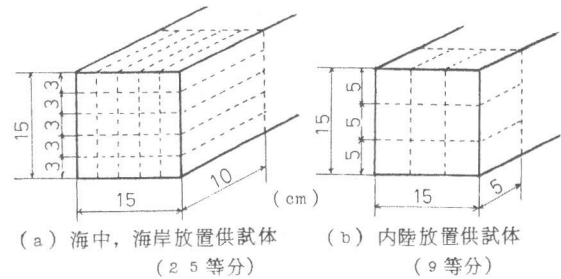


図-1 塩分量測定のための試料採取方法

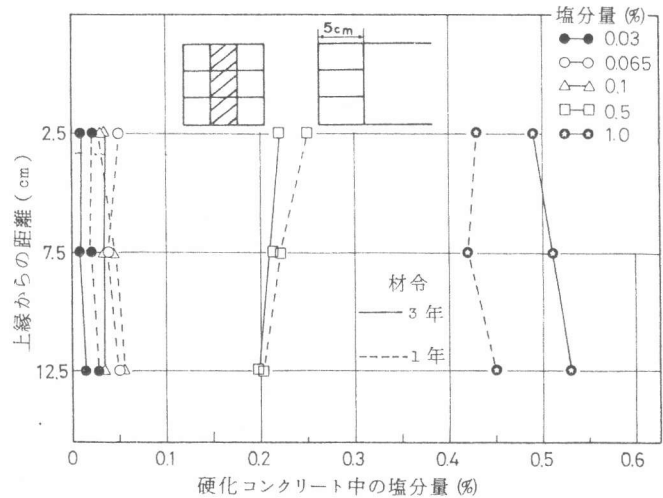


図-2 硬化コンクリート中の塩分量(内陸放置)

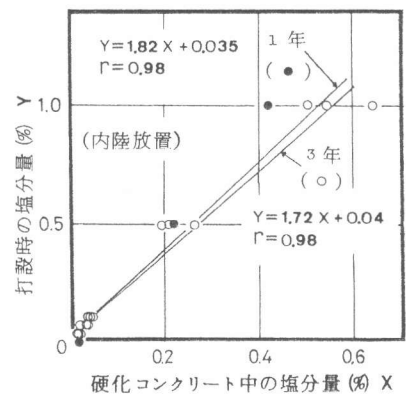


図-3 打設時の塩分量と硬化コンクリート中の塩分量の関係

供試体断面の硬化コンクリート中の塩分量を示す。同図によると、内陸放置供試体中の塩分量は、コンクリートの表面および内部ともほぼ同一の値を示し、打設時の塩分量(配合設計において定めた海砂に対する塩分含有量)の約 $\frac{1}{2}$ に低下している。打設時の塩分量と硬化コンクリート中の塩分量の関係を図-3に示す。同図によると、硬化コンクリート中の塩分量は打設時の塩分量に比例し、約55%に低下している。したがって打設時の塩分量の45%が、フリーデル氏塩($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$)のような化合物に組みこまれて固定化されたものと考えられる。材令3年の塩分量は、1年目の結果とほぼ同一であるので、コンクリート中での変化がほとんどなかったものと考えられる。

3.2 海中放置および海岸放置各供試体

図-4には海中放置における材令1年、3年の硬化コンクリート中の塩分量分布を示す。同図によると、硬化コンクリート中の塩分量は表面近くで大きく、内部で小さく、 Cl^- イオンの侵入、蓄積が海水から行なわれたことがわかる。コンクリート表面では、各供試体とも同じように海水に接しているので Cl^- イオンの侵入があり、塩分量を同程度示すはずであるが、打設時の塩分量が大きいほど硬化コンクリート中の塩分量も大きくなっている。これは、打設時の塩分量が大きいコンクリートほど、 Cl^- イオンの侵入が進みやすい性質を有しているのではないかと考えられる。図-5は硬化コンクリート中の塩分量を立体的に表わしたものである。同図によると、塩分量は隅角部で最大を示し、中心部で最小であることがわかる。 Cl^- イオンは供試体の四方から侵入しているので、隅角では二方向からの侵入によって塩分量が著しく大きくなったものと考えられる。図-6は海中放置における打設時の塩分量と硬化コンクリート中の塩分量の関係を示す。同図によると硬化コンクリート中の塩分量は、コンクリートの深さすなわちかぶりと打設時の塩分量に関係深いことが認められる。海中構造物では供試体にひびわれが発生しないかぎり、表面近くでは Cl^- イオンの蓄積がたえずなされ、表面から内部へと Cl^- イオンの侵入が行なわれているものと考えられる。打設時の塩分量が0.5%より大きく、かぶりが25mmより小さい場合には一年目の結果と比べると、塩分量は明らかに増大しているが、打設時の塩分量が0.1%以下で、かぶりが35mm以上であれば塩分量はあまり増加しないようである。

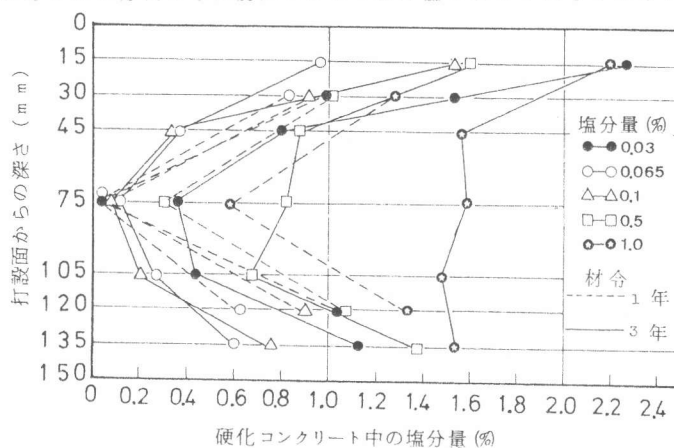


図-4 硬化コンクリート中の塩分量 (海中放置)

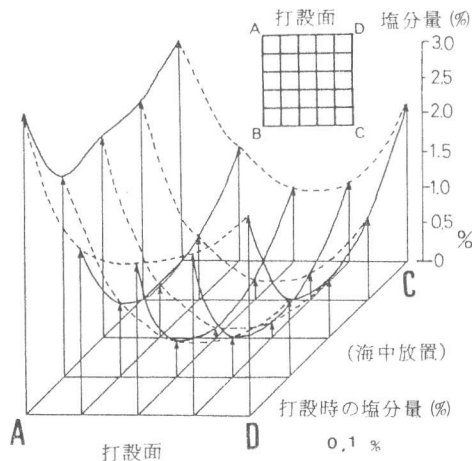


図-5 硬化コンクリート中の塩分量の分布

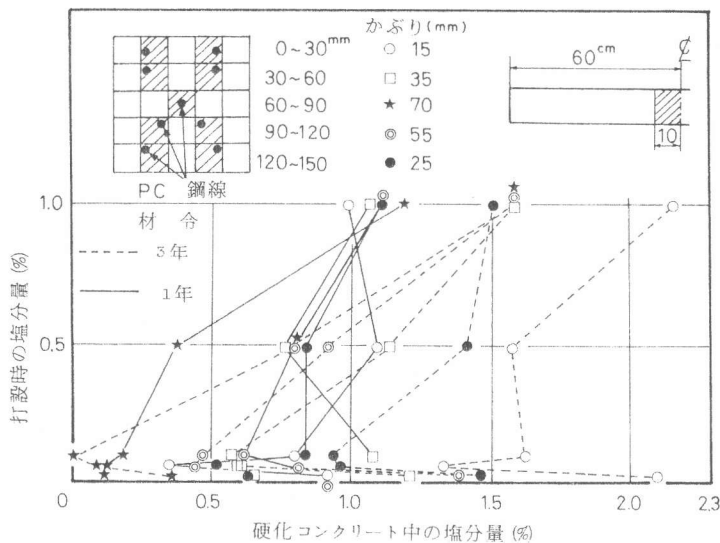


図-6 打設時の塩分量と硬化コンクリート中の塩分量の関係 (海中放置)

4. 鋼材の発錆

4.1 端部からの影響 P C 鋼線を端部から所定の長さごとに切断し、端部からの錆の進行状態を調べた。その結果の一例を図-7に示す。同図によると海岸、海中両放置供試体端部での重量減少率は内陸放置のそれに比べて大きく、錆が進んでいることがわかる。しかしながら、重量減少率は端部から10 cm以上入ると小さくなり、それより内部の減少率とはほぼ同程度である。このことから、端部からの錆の進行は、まだ端部およびその近くにとどまっており、深くても20 cm程度であると考えられる。

4.2 重量減少率と硬化コンクリート中の塩分量

図-8には重量減少率と硬化コンクリート中の塩分量の関係を示す。同図によると、鋼線の重量減少率は硬化コンクリート中の塩分量の増加にしたがって大きくなり、塩分量が0.04%以下であれば重量減少率は小さいが約0.2%以上になると急激に大きくなる傾向がみられる。海中放置の場合、内陸放置に比べて塩分量が約10倍ほど大きくなっているにも拘らず、重量減少率はそれほど増加していない。このことは、発錆がCl⁻イオンの影響だけでなく、酸素の存在によって進むことを裏付けているものと考えられる。

4.3 最大引張荷重と硬化コンクリート中の塩分量

供試体から取り出した鋼線の最大引張荷重と硬化コンクリート中の塩分量の関係を図-9に示す。埋設前の鋼線の最大引張荷重は2.70 tonであった。したがって放置3年で、塩分量およびかぶりと無関係に約0.2 ton(約7%)以上低下していることになる。内陸・海中放置供試体中の鋼線に比べると、0.1 tonほど最大引張荷重の低下が大きくなっている。

5. 結論

(1) 内陸放置供試体では、打設時の塩分量の大小にかかわらず約50%が固定化されるので、硬化コンクリート中の塩分量は約1/2に低下する。

(2) 海中放置供試体ではCl⁻イオンの著しい侵入がみられ、塩分量分布はコンクリート表面で大きく内部で小さなすり鉢状を示している。

(3) 材令3年、内陸放置供試体での鋼線の重量減少率は、硬化コンクリート中の塩分量が0.2%以上になると大きくなる傾向がみられる。

(4) 海岸放置での鋼線の最大引張荷重は、他の放置でのそれに比べて最小を示した。

参考文献

- 1) 渡辺明：R C および P C 構造物における海砂使用上の問題点解明に関する総合研究、総合研究 A 研究成果報告書、昭和56年3月

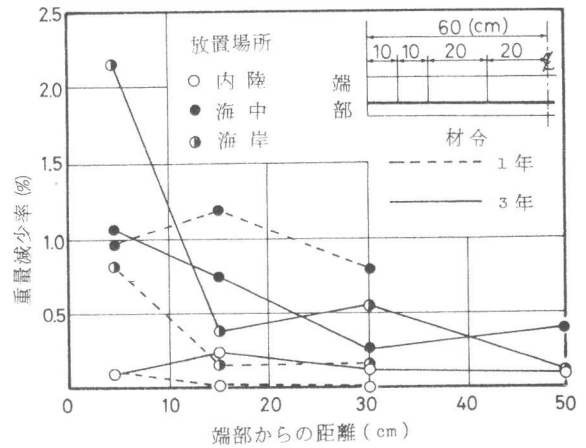


図-7 重量減少率と端部からの距離

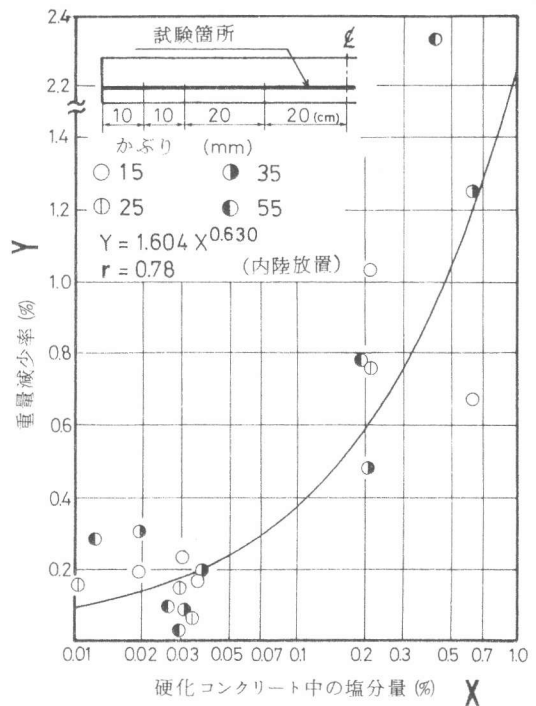


図-8 重量減少率と硬化コンクリート中の塩分量

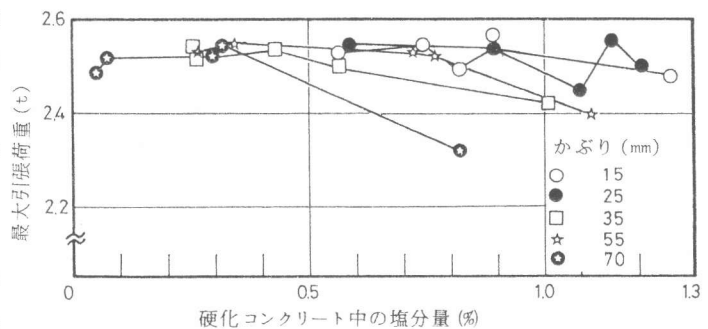


図-9 引張荷重と硬化コンクリート中の塩分量の関係 (海岸放置)