

論文

[1029] 海洋環境下における低品質骨材コンクリートの耐久性

正会員 ○迫田恵三 (東海大学海洋土木工学科)

正会員 竹田宣典 (大林組技術研究所)

正会員 十河茂幸 (大林組技術研究所)

1. まえがき

比重が小さく、吸水率の大きい骨材を用いた、いわゆる低品質骨材コンクリートがコンクリートの力学的性質や耐凍結融解性に及ぼす影響については、これまでいくつかの報告がなされている。しかし、海洋環境下における低品質骨材コンクリートの耐久性についてはほとんど明らかにされていない。このような低品質骨材を有効に利用するには、海洋環境を含めた各種環境における低品質骨材コンクリートの性質について明らかにする必要があると考えられる。本研究は低品質骨材を用いたコンクリートを海洋環境下に6年間暴露した場合の重量変化、塩分含有量、圧縮強度、縦波速度、動弾性係数、自然電位及び鉄筋の腐食に関して検討を行ったものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント (比重3.15) を使用した。細骨材は山砂、粗骨材は低品質骨材としてJIS A5005「コンクリート用砕石」の品質規定である比重2.5以上、吸水率3%以下の基準に満たないものとして伊豆長岡産砕石を用いた。比較のために良品骨材として八王子産砕石を用いた。これらの骨材の物理的性質を表-1に示す。コンクリートの配合を表-2に示す。なお、スランプ値は12±1.5cm、空気量は5%に設定した。

表-1 骨材の物理的性質

骨材名	種類	F.M	比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/ℓ)	実積率 (%)
八王子	砕石	6.20	2.65	1.09	1.51	56.8
伊豆長岡	砕石	6.49	2.26	4.66	1.35	60.3
木更津	山砂	2.67	2.58	1.64	1.79	69.3

2.2 供試体及び暴露環境

塩分測定用供試体は

直径15cm、長さ15cmの円柱で、図-1に示すように一方向から塩分が浸透するようにエポキシ樹脂で塗装を行った。鉄筋の腐食用供試

表-2 コンクリートの配合表

配合名	w/c (%)	W (kg/m)	C (kg/m)	S (kg/m)	G (kg/m)	AE剤 (kg/m)
普通コンクリート	50	166	332	847	935	3.32
低品質骨材コンクリート	50	166	332	847	840	3.32

体は図-2に示すように高さ9 cm, 幅18 cm, 長さ90 cmのRCはりとし, かぶり2 cmの位置にD19異形棒鋼を配置した。また, 圧縮用供試体は直径10 cm, 長さ20 cmの円柱である。

供試体は材令14日まで湿布養生しその後塗装を行った。供試体を暴露した環境は静岡県清水港外港防波堤の海中(水深1.1 m), 海上大気中(防波堤上)及び内陸部(海岸線より約30 km)で行った。

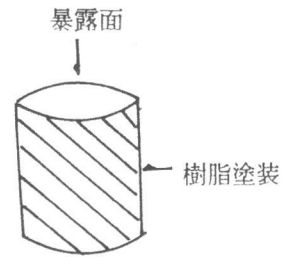


図-1 塩分量測定用供試体

### 2.3 測定項目

測定は暴露開始後6ヶ月, 1年, 3年及び6年である。測定項目は(1)塩分含有量(2)重量変化(3)圧縮強度(4)縦波速度(5)動弾性係数(6)自然電位(7)鉄筋の腐食である。

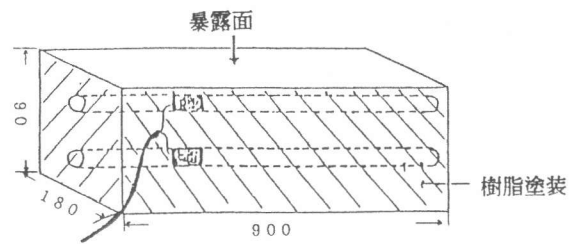


図-2 鉄筋腐食用供試体

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 塩分量

図-3, 4はコンクリートを水深1.1 mの海中に浸漬した場合の塩分含有量の推移を示している。

海中での塩分浸透の傾向は良品質, 低品質骨材を用いたコンクリートとも類似している。表層2 cmでは1年から3年にかけて急激に塩分含有量が多くなり, その後はほぼ一定である。6 cmより深いところでは暴露年数の経過と共に塩分量も徐々に増加する傾向がある。

防波堤上の海上大気中に暴露したコンクリート中への塩分含有量の結果を図-5, 6に示す。海中に浸漬したものと同様, 暴露期間3年まで塩分含有量は増加しているがそれ以降はほぼ一定値を示している。防波堤上の供試体は防波堤前面の消波ブロックによって碎波されたスプラッシュがコンクリートに付着し, 塩素イオンが浸透することが考えられる。しかし, コンクリートの表面から2 cm及び4 cmまでの塩分量は, 海中に浸漬したものと比較してかなり少ない。これはこの環境に暴露されたコンクリートが常時スプラッシュを受けないことが塩分量を少なくしているものと考えられる。

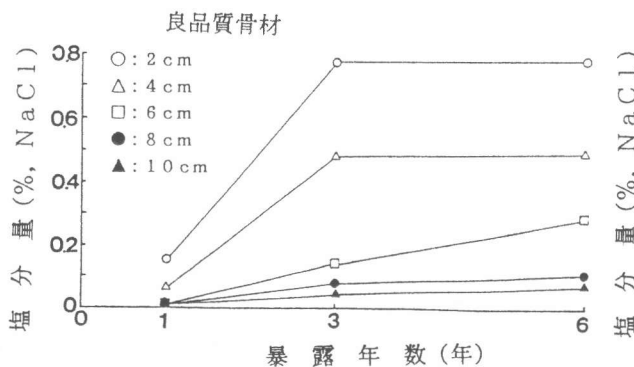


図-3 塩分量の推移(海中)

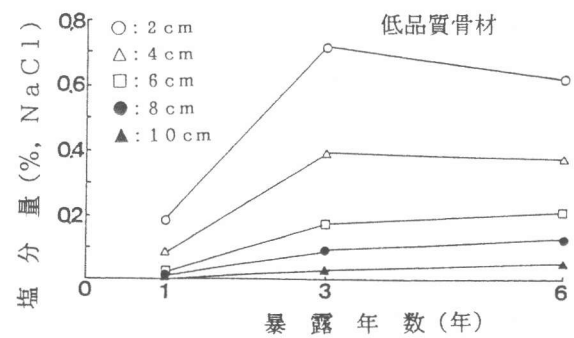


図-4 塩分量の推移(海中)

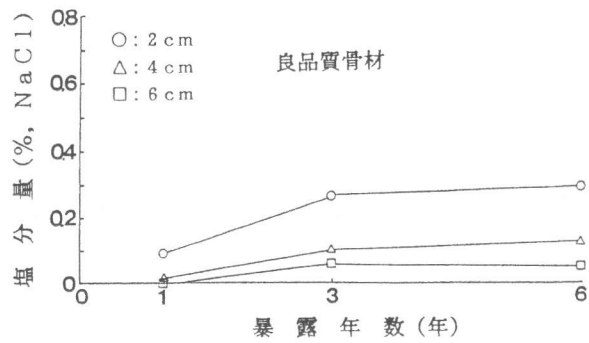
図一7は暴露期間6年における海上大気中、海中でのコンクリート中の塩分含有量の結果を示している。コンクリート表面からの深さが深くなるほど塩分量は低くなり、また、海中では10 cm、海上大気中でも6 cmまで塩分浸透が認められる。しかし、良品質骨材と低品質骨材を用いたコンクリートの塩分量を比較すると、海上大気中、海中とも大きな差異はみられない。これはコンクリート中の塩素イオンの拡散が主にセメントペーストの水セメント比に依存し、本研究で使用した骨材程度の吸水率であれば骨材品質の影響が小さいことが考えられる。

### 3.2 重量変化

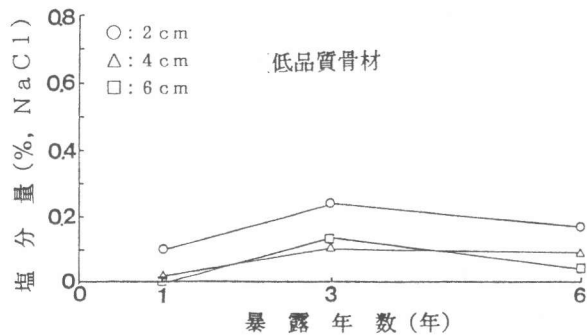
図一8は同一の供試体を用いたコンクリートの重量変化の推移を示している。この図の重量変化率は、各々の暴露年数での重量を6ヶ月間暴露したときの重量で割った値で表してある。海水中に浸漬した供試体は骨材品質に拘らず暴露年数が経過するにつれ、重量変化率も大きくなっていく。暴露年数6年では標準養生に比較して重量変化率がかなり大きい。これは海水の浸食作用によって重量が大きくなったものと考えられる。これに対して海上大気中や内陸部に暴露したものは暴露年数の経過と共に重量が減少する傾向がみられる。これは乾湿の繰り返しなどによって、コンクリートの表面が僅かに剝離していることと、乾燥による影響が原因と考えられる。また、低品質骨材を用いたコンクリートの重量変化は良品質骨材を用いたものと大差ない結果となった。

### 3.3 圧縮強度

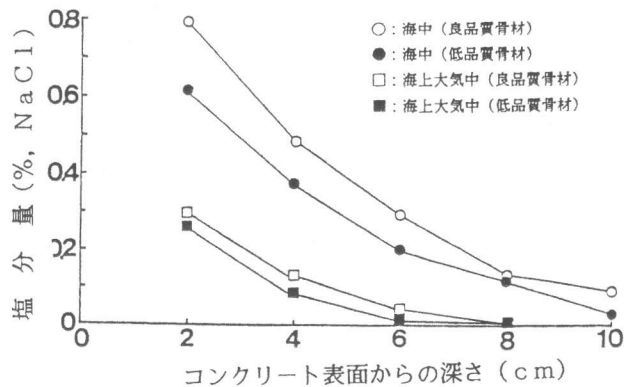
図一9は各々の暴露年数3, 6年のコンクリートの圧縮強度を暴露年数1年の強度で割った圧縮強度比を示す。海上大気中、内陸部に暴露したものは骨材品質に拘らず暴露年数1年から3年にかけて圧縮強度が



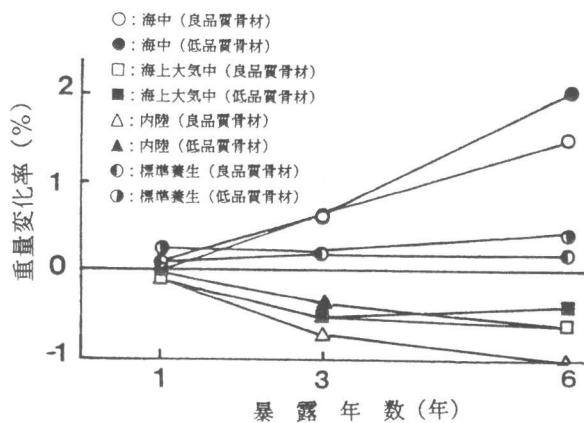
図一5 塩分量の推移 (海上大気中)



図一6 塩分量の推移 (海上大気中)



図一7 コンクリート中の塩分含有量



図一8 コンクリートの重量変化の推移

増加しているものが多い。しかし、暴露年数3年から6年にかけて強度が低下する傾向にある。これに対して、海中に浸漬したものは骨材品質に拘らず暴露年数の経過と共に強度が低下する傾向がみられる。この強度低下の原因については海水の浸食作用が考えられる。この浸食作用については、一般に海水中の硫酸塩とセメント中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{C}_3\text{A}$ が反応して生じるエトリンガイトによるもの及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出によるものが主なものとされている。本研究ではエトリンガイトの測定を行っていないので断定はできないが、図-8に示したコンクリートの重量変化の推移から類推して何等かの膨張性の物質が形成され、コンクリートの強度を低下させたものと考えられる。また、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のコンクリートからの溶出は図-10に示したX線回折図から推定できる。このX線回折図からも明らかなように、暴露期間3年から6年にかけてコンクリートの表層2 cmにおいて、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のX線回折強度が小さくなっている。これに対して、深さ8 cmにおいては暴露年数3年と6年ではX線回折強度はほとんど変化していない。8 cmの深さでは塩分の含有量が少ないことからこの部分での $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出も少ないことが考

えられる。コンクリート表層から $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が溶出し、その結果、空隙量が多くなり強度が低下したものと考えられる。

このようにコンクリートが凍結融解作用を受けるような環境でない限り

において、海中に浸漬したコンクリートは骨材品質に関わりなく、暴露期間が3年あたりから強度の低下が生じることが考えられる。

### 3.4 縦波速度

図-11は各々の暴露年数3、6年における縦波速度を暴露年数1年の縦波速度で除した縦波速度比を示す。コンクリートが劣化すると縦波速度も小さくなることが考えられる。しかし、

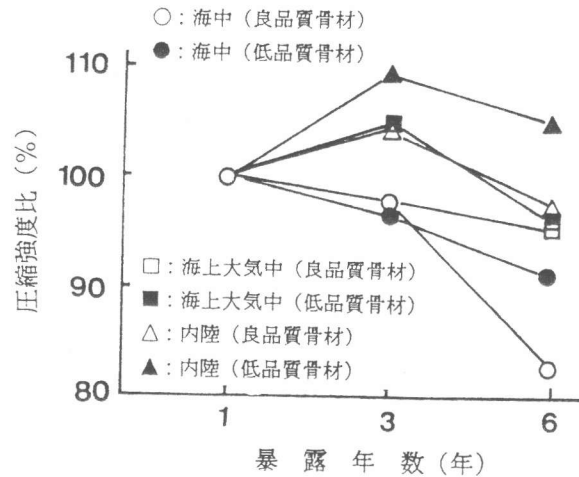


図-9 圧縮強度比の推移

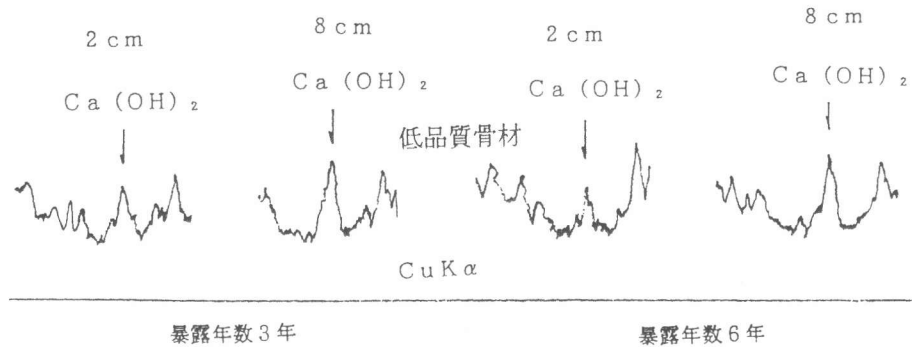


図-10 コンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$

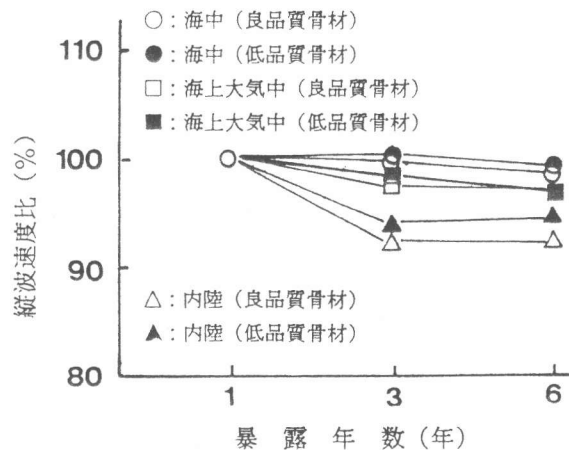


図-11 縦波速度比の推移

海中に浸漬したものは骨材品質に拘らず暴露年数1年と6年では縦波速度比に変化がみられない。これに対して、海上大気中や内陸部に暴露したものは海中に浸漬したものと比較して縦波速度比が小さくなっている。このようになった理由として次のようなことが考えられる。コンクリートを海中に浸漬すると、海水の浸食作用によって供試体表面が劣化するが、内部は塩分量やCa(OH)<sub>2</sub>量から推定する限りにおいて、暴露年数6年程度ではさほど

劣化していないことが考えられる。従ってコンクリート供試体は表層の劣化部分と内部の健全な部分では超音波を伝播させる性質が異なることが考えられる。本研究では縦波伝播時間を円柱供試体の長手方向に対して対称方法によって測定したために、超音波が供試体内部の健全な部分を透過したものと推定される。その結果、測定値はコンクリート内部の健全な部分のものであり、供試体表層部の劣化についてはこの測定方法では鋭敏に現れてこないことが考えられる。また、海上大気中や内陸部に暴露したものは供試体の重量変化率が暴露年数が多くなるにつれ減少していることから、供試体が乾燥され縦波速度が小さくなったものと考えられる。

### 3.5 動弾性係数

図-12は各々の暴露年数3, 6年の動弾性係数を暴露年数1年の動弾性係数で割った動弾性係数比を示す。全体的には縦波速度比と類似した傾向を示している。すなわち、海中に浸漬したものは骨材品質に拘らず暴露年数1年と6年では動弾性係数がほとんど変わらない。また、海上大気中、内陸部に暴露したものは海中に浸漬したものと比較して動弾性係数比が小さい。良品質骨材を用いたコンクリートを海中に10年間浸漬した場合、動弾性係数が変わらなかったことが報告されている[1]。しかし、何故このようになったかについては明らかにしていない。恐らくこの研究では縦振動によって動弾性係数を求めたものと思われる。コンクリート表面の劣化は縦振動に比較して、たわみ振動の方が明瞭に現れやすいといわれている。本研究においても縦振動によって動弾性係数を測定したために、

海水の浸食によるコンクリート表面の劣化を敏感にとらえることができなかったものと考えられる。

### 3.7 自然電位

図-13は飽和硫酸銅電極を使用した自然電位の結果を示している。ASTMによれば自然電位の値が-350mVより卑であれば90%以上の確率で鉄筋の腐食が生じているとされている。海水中に暴露した良品質及び低品質骨材を用いたコンクリートの自然電位は、

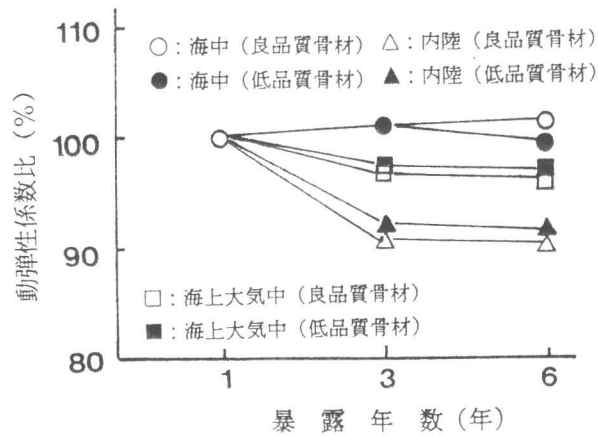


図-12 動弾性係数比の推移

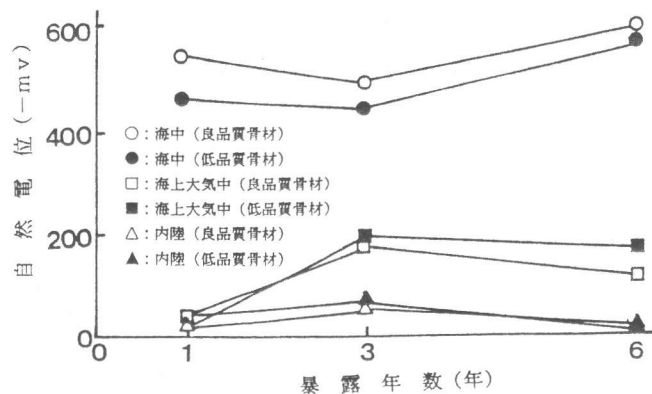


図-13 自然電位の推移

暴露期間1年から-350mVより卑になっている。この結果、鉄筋が腐食している確率が高いものと考えられる。これに対して、海上大気中に暴露したものの自然電位は骨材品質に関わりなく、暴露期間1年から3年にかけて大きくなり、その後はほぼ一定である。また、自然電位の値は約-200mVを示し、海中に浸漬した供試体に比較したらかなり低い。

### 3.8 鉄筋腐食

図-14は暴露環境別にみた鉄筋腐食の推移を示している。海水中に暴露したものは暴露期間1年で約1%の腐食がみられた。また、暴露年数が1年から3年にかけて良品質及び低品質骨材コンクリートの鉄筋の腐食は各々約3%、4%に増加している。しかし、3年から6年にかけてはほぼ一定の腐食率になっている。これは海水中の酸素量が少ないことが影響しているものと考えられる。これに対し、防波堤上の海上大気中に暴露したコンクリート中の鉄筋は乾湿の繰り返しや、消波ブロックによるスプラッシュによって腐食することが予想される。暴露年数6年で鉄筋の腐食が生じたのは低品質骨材を用いたコンクリートであり、その腐食量は約8%である。これについては以下のことが考えられる。海上大気中では塩分量と酸素などの透気性がコンクリート中の鉄筋を腐食させる要因として挙げられる。海中、海上大気中に暴露したコンクリートの塩分量は骨材品質に関わりなく同程度であることから、透水量も同程度であるとみなされ、残るはコンクリートの透気性が腐食に影響を及ぼすものと考えられる。一般に透気性と透水性は比例関係を有しないが、前者の方がはるかに敏感であるといわれる。低品質骨材を用いたものは良品質骨材を用いたものと比較して、透気性が大きいことが考えられる。その結果、腐食が生じたものと推定される。

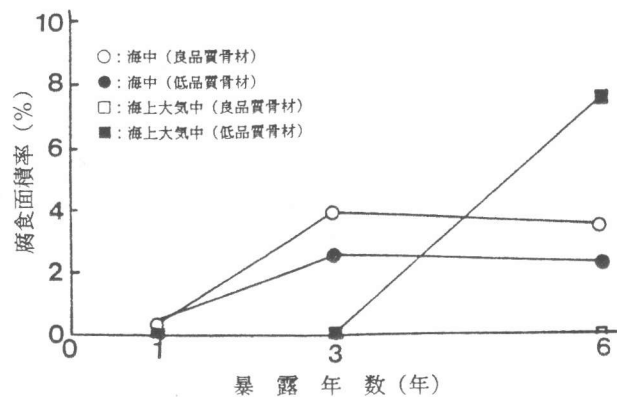


図-14 鉄筋腐食の推移

### 4. まとめ

本研究によって得られた結論は以下の通りである。

- (1) 低品質骨材を用いたコンクリートの塩分含有量は良品質骨材を用いたものと同程度である。
- (2) 圧縮強度は骨材品質に関わりなく暴露年数3年あたりから低下する傾向がみられる。
- (3) 低品質骨材を用いたものは海上大気中において腐食がみられた。

以上のように低品質骨材を用いたコンクリートは、塩分含有量や圧縮強度では良品質骨材コンクリートと大差ない結果が得られたが、スプラッシュを常時受けるような環境では鉄筋が腐食する恐れがある。また、本研究での暴露環境は気候的に温暖な地域であり、凍結融解作用を受けるような厳しい環境において低品質骨材を使用するには、いろいろな対策を講じることが必要と考えられる。

### 参考文献

- 1) 森 好生・野木孝次：コンクリートの耐海水性に関する研究，セメント・コンクリート，No417, pp.10-17, Nov.1981