

1. 概要

静岡県清水市三保の清水燈台は、明治45年建設されたわが国最初の鉄筋コンクリート造の燈台である。この灯台時に設けられた木造官舎は、その後経年とともに老朽し、昭和43年度新しく建て替えた。この60年を経過し、海砂と塩分を含んだ井戸水（ PH は7.36、塩素は1000中に5.57g）を使用した床コンクリートから、コンクリートの中性化、圧縮強度等の性状を今回知ることが出来、現在でも十分安全であることが判明したので、今後海洋構造物に海水を使用するコンクリートの参考にたれば幸いと思ひこみにてりまとめた次第です。試料は60年経過した木造官舎の床部無筋コンクリートの撤去塊から $30 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ 程度のものをひき集め、実験室に持ち帰り、コア採取機で抜き取り整形しコア供試体とした。測定されたコアの超音波伝播速度から60年後のコンクリートの品質を知り、ついで圧縮強度-ひずみ を測定した。破壊されたコアはくんでいて粉末とし、 PH 、塩分をそれぞれ求め、セメントのシリカ量も検出した。また砕かれた粉末をふるい分け、セメント、砂、砾の残留重量比から打設当時のコンクリートの配合を推定し、同配合の供試体をつくり比較してみた。コンクリートの経年にならなう中性化については別にコア試料を採取して試験を行った。

鉄筋コンクリート造燈塔の60年近く経過したコンクリートの諸性質に関しては、強度面から推定することとして海に面した側、出入口扉の開口面をもった側、それ以外の各側面について各断面ごと内外壁228点のコンクリート強度をシュミットテストハンマーで測定し、（外壁 $420 \sim 104 \text{ kg/cm}^2$ 、内壁 $420 \sim 150 \text{ kg/cm}^2$ ）、ついで地盤面上 90 cm の位置における各面からコアを14本採取し、単位体積重量 $2.25 \sim 2.42 \text{ t/m}^3$ 、ポアソン比 $0.29 \sim 0.37$ 、ヤング率 $2.75 \sim 4.52 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、剛性率 $1.76 \sim 1.03 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、体積弾性率 $2.62 \sim 4.40 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、圧縮強度 $376 \sim 504 \text{ kg/cm}^2$ 、 PH $9.81 \sim 10.36$ 、含有塩素量を測定したところコンクリート10g中塩素量は0.8～3.28gで特に海に面した側のコンクリートには極端に塩分が3.28～3.24gと多く含まれていることが判明した。この鉄筋コンクリート造燈塔の経年にならなうコンクリートの強度と諸性質については1968.8 オホ技術 を参考としていたべきだい。

2. コンクリートの単位体積重量

15本のコア供試体から2.36～2.42平均して2.39であった。

3. ポアソン比、ヤング率、剛性率、体積弾性率

超音波伝播速度測定値より縦波速度 $4068 \sim 4831 \text{ m/s}$ 、横波速度 $2313 \sim 2736 \text{ m/s}$ となり、いさうづきがあるが、配合による縦波速度と圧縮強度を示す曲線として表わすと図-1 となり、いさうづき使用骨材 30 mm 以下 $1:3:6$ 配合による水中養生、空中養生の中間に位置する。また縦波速度が 4000 m/s といふことは、さだまりの品質を有していることを実証しているわけである。さだまりから求めたポアソン比は $0.29 \sim 0.38$ 、ヤング率 $3.36 \sim$

$4.42 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 剛性率 $1.78 \sim 1.27 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 体積弾性率 $1.66 \sim 3.49 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とする。後述の指定配合にもとづき、供試体を3本つくり、超音波伝播速度から求めたポアソン比は $0.24 \sim 0.27$ ヤング率は $7.69 \sim 8.15 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で、ポアソン比は少々大きく、ヤング率はかなり小さく、このことからコンクリートの強度は建設当時より落ちていっているといえる。

4. コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果は2個の整形不良に起因する強度の極端におちているものを除いた、2個の供試体から平均強度 207.8 kg/cm^2 標準偏差 24.6 kg/cm^2 変動係数 11.8% 範囲は $253 \sim 164 \text{ kg/cm}^2$ で、60年を経過してコンクリートの強度は 207.8 kg/cm^2 といえる。後述の指定配合にもとづき供試体を3本つくり、圧縮強度を求めてみたところ $\bar{C}_{28} = 239 \text{ kg/cm}^2$ であった。

5. 配合の推定 (表-1)

コアの一部を乳鉢でつぶし、セメント・砂・砂利の配合比がどうであったか調べてみた。つぶした試料のうち 5 mm 以下のものを粗骨材、 0.088 mm 以下のものを通過したもの、セメント、その中間を細骨材に区分した。これよりセメント：砂：

砂利の配合比は $1:3:4$ 程度であったものと推定した。

表-1 セメント・砂・砂利の配合状況

コア	全重量	セメント	砂	砂利	
1	217.5	120.0	63.0	34.5	g
		55.17	28.97	15.86	%
2	195.0	104.5	65.5	25.0	g
		53.59	33.59	12.82	%
3	255.0	129.5	95.0	30.5	g
		50.78	37.26	11.96	%
4	185.5	92.0	71.0	22.5	g
		49.60	38.27	12.13	%
5	179.0	93.5	65.0	20.5	g
		52.24	36.31	11.45	%
6	266.0	128.0	105.0	33.0	g
		48.12	39.47	12.41	%
7	197.5	121.5	56.5	19.5	g
		61.52	28.61	9.87	%

6. 使用セメント(シリカ質)
コアを粉末状につぶし、 0.088 mm 以下のものを通過したセメントの部分、 10 g を取り出し、ビーカーに入れ、 $4 \sim 5\%$ 濃度の稀塩酸を注入数回煮沸した。これを2回くりかえし、セメント中の Ca 化合物を完全に塩酸に溶解させ、3級でし、3級でしるつばに入れ、ガスバーナーで焼却し、残さを測定したところ 10 g 中に 3.64 g つまり、 36.4% シリカ質成分が含まれておった。このことから使用セメントはシリカ質セメントと判

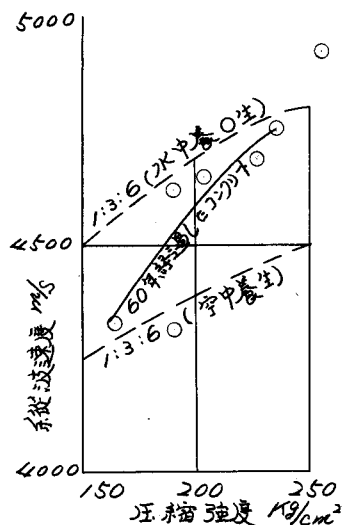


図-1

配合比と縦波速度-圧縮強度

断した。

7. コンクリートのPH値

14本の供試体を粉砕し、蒸留水に浸し、上澄液をPHメーターで測定したところ、1.7~2.5のPH値を示した。

8. コンクリートの中性化と深度

大気に接する面を一边とする断面を切りとった試料にフェノールフタレインの・99% イチルアルコール溶液を塗布し、赤く着色したアルカリ部分の境界をトレーシングペーパーに写し、中性化部分の面積をプルーメーターにより求積し、横幅を除いた値を中性化した表面からの平均の深さとした。5個の試料の中性化の一例は図-2 に示されておらず、これより表面から深さ 27.7mm~31.5mm にわたって60年間に中性化が進行したわけである。なお経年での中性化した深さとの関係式から % も求めることとなった。

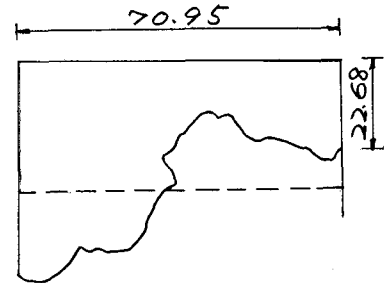


図-2 中性化の状況

$$t = \frac{7.2 X^2}{R^2 (4.6 W\% - 1.76)^2}$$

t: 期間(年) 60年

X: 中性化した深さ(cm) 3cm

R: 中性化比率 1.7

9. 含有塩分量

採取したコアに異がらが見つけられたことから、細骨材には現場の塩分を含有した海砂を使用したと思われる。一般に鉄筋コンクリートの塩分の許容量は骨材で 0.01%、混合水で 0.04%、コンクリートで 0.004% と、また無筋コンクリートでは 0.15% といわれている。

海洋構造物でコンクリートを現場打ちする場合、海水の使用はやむを得ないことであるから、塩分の含有された今回の60年を経過したコンクリートの性格は大きな指針をまえることになる。

大気に露出していた表面と、表面から約 10cmほど入った二部分について塩分の含有量を測定してみた。それには、試料を105℃で恒量となるまで乾燥させ、0.15mmふるいを通過するようにこまかく研ぎ、25gの試料に蒸留水 100℃を加え、かき混ぜながら約80℃に温度をあげ、常温で2時間放置した。その上澄液を採り、シラン酸カリを指示薬として塩分量を求め、コンクリートの重量百分率で表わすと、露出部分は0.6~0.752%、表面から10cmほど入った部分は0.443~0.558%であった。一方、60年前打設当時のコンクリートの含有塩分量を推定してみると、推定配合比(重量) 1:3:4 中性化より判断して水セメント比 50% 海砂の塩分含有量 0.1%、使用地下水の塩分含有量 0.4% とすれば、コンクリート中の塩分含有量は重量百分率で 0.13% となる。これより露出部で 0.752 ÷ 0.130 = 5.8倍、表面から10cm程入った部分で 0.558 ÷ 0.130 = 4.3倍の塩分量が60年間に蓄積されたことになる。

10. まとめ

細骨材に海砂を、塩分を含んだ地下水を使用し、事実許容量の5.8~4.3倍の塩分を含有しているのに207.8%の強度を示している。シリカ質のセメントを使用したためであろう。