

V-281

フェロセメントの耐海水性に関する10年試験結果

東京都立大学 会員 村田 二郎

東京都立大学 会員 ○川崎 道夫

宇部興産(株) 会員 米田 俊一

1. まえがき

フェロセメントは、ひびわれ分散性、復元力特性、造型性等にすぐれ、小型船舶および小型海洋構造物等に有利な複合材料といわれている。本研究は28日強度約800Kg/cm²の高強度軽量モルタルを用いたフェロセメント板を海風帯、干満帯および海水中に10年間暴露し、暴露材令0.5、1、3、5 および10年において実施した外観観察、金網素線の引張り試験および繰返し曲げ試験等の結果についてとりまとめたものである。

2. 使用材料、モルタルの配合および供試体

セメントはU社製の普通および耐硫酸塩ボルトランドセメントの2種であり、その物理、化学試験成績を表1に示す。細骨材は最大粒径2.5mmのM社製人工軽量骨材であってその物理試験結果を表2に示す。混和剤としてN社製高性能減水剤を用い、また一部にO社製膨張材を50kg/m³使用した。金網はJIS G 3553および3555に規定される素線径1.65mmのクリンプ金網および1.2mmの織金網である。配合はW/Cを30%とし、スランプが14cmとなる様s/cを普通セメントを用いた場合1.38、耐硫酸塩セメントを用いた場合1.67とした。供試体は長さ55cm、幅15cm、厚さ2cmおよび4cmの2種類であって、前者は織金網を5層、また後者はクリンプ金網を10層に配置した。なお、かぶり厚さはいずれも4mmとした。

表1

セメントの化学	種別	化学成分						比重	フルン (cm ² /g)	曲げ 強さ(kg/cm ²)			圧縮強さ(kg/cm ²)		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃			3日	7日	28日	3日	7日	28日
・物理試験成績	SRC	22.4	3.1	4.7	64.8	1.3	2.1	3.21	3.500	40.9	53.6	66.6	160	228	378
	NC	22.0	5.2	3.1	65.1	1.4	1.8	3.16	3.160	30.9	47.0	68.8	124	232	410

3. 試験方法

暴露試験：試験は宇部市内U社製構内の海水プールで行った。プールの水位は自動制御ポンプにより、外海とほぼ同様に昇降し、干満帯および海中部を再現する様になっている。海風帯は常時潮風が当たる気中に暴露したものである。暴露条件と供試体の種類の関係を表3に示す。なお、供試体は4週湿潤養生を行い、一部は破壊荷重の1/3まで予載荷を与えひびわれを発生させた後暴露試験に供した。

外観検査：外観は各暴露材令において目視でひびわれ、劣化等について観察すると共に曲げ試験を終了した供試体について金網の発錆状況について観察した。

金網素線の引張り試験：暴露材令3、5 および10年において曲げ試験を終了した供試体のはり軸直角方向の引張側外縁の金網素線を採取し引張試験を行った。引張り試験はJIS Z 2241に準じて行った。

繰返し曲げ試験：スパン45cmとしてたわみ制御による3等分点載荷を行った。たわみはスパン中央でのたわみで制御し、1mmまで0.25mm、2mmまでは0.5mm、以後1mm毎とした。繰返し曲げ試験による劣化の評価は、 M_u/bd で表わした終局耐力および $\gamma = (\delta - \delta')/\delta$ で表わした復元力特性によることとした。曲げ試験結果を M_u/bd で表わした理由は、供試体製造時に生じた金網位置の僅かなずれを補正するためである。ここで、 d は曲げ試験終了後はりを切断し、圧縮縁から金網断面の図心までの距離として実測したものである。復元力特性における δ は全たわみ、 δ' は残留たわみを表わす。

4. 試験結果および考察

外観：各暴露材令において観察した供試体の外観は、海風中、干満帯および海水中のいずれの条件下で暴露したものについても健全と考えてさしつかえなく、金網の発錆もしくはエトリンガイトの生成等に起因するクラック、干満帯における乾湿繰返し作用あるいは凍結融解作用による劣化等はいずれも認められなかった。なお、暴露材令3年以後供試体のごく一部に褐色の2Fe(OH)₃の流出が見られた。一方、金網の発錆観察

の結果のうち、暴露材令5年までの供試体については、ほとんどが黒色の $Fe(OH)_2$ と思われる腐食物で覆われており、 $2Fe(OH)_3$ が見られたのは木片スぺーサ部等ごく一部であった。しかし、暴露材令10年では最外縁金網の約1/2～1/3に $2Fe(OH)_3$ の発生があり、特にスぺーサ部の近傍では、目視で判断可能な断面の減少もしくは喪失を伴う極度の腐食が見られた。しかし、これらの極度の腐食は、供試体の製造不良に伴ったものであり、施工を入念に行えばかぶり4mm程度であっても腐食の程度は軽微であると考えられた。

金網素線の引張り強度：引張り試験の結果を表3に示す。部材最外縁の素線の引張り強度は、健全な素線に比し、暴露材令5年までは約0.9以上である。これに対し、材令10年では0.68～0.86と低下しており、腐食の影響が認められる。

繰返し曲げ試験結果：試験結果を表3に示す。暴露材令0.5～10年における終局耐力は暴露材令0年において行った基準りの試験結果に比し、部材厚さの違い、セメントの種類、膨張材の有無、予載荷の有無および暴露条件、材令の違いに拘らず約0.9～1.3の範囲にあり健全といえる。なお部材厚さ2cmのものの一部に0.8～0.9の範囲のものも見られるが、これは供試体の外観等により判断し劣化によるものではなく試験誤差と考えている。図1に復元力特性（ γ と P/P_u との関係）の暴露材令3および10年での試験結果の例を示す。 γ は金網を5層入れた部材厚2cmおよび10層入れた4cmの供試体のいずれも P/P_u が0.6～0.7程度において急激に低下している。しかし、 γ の低下し始める P/P_u および低下し始めてからの低下率は、終局耐力と同様、部材厚さ、セメントの種類、膨張材および予載荷の有無、暴露条件、材令の違いに拘らず差がないと考えてさしつかえない。図2に腐食した金網素線の $\sigma - \epsilon$ 曲線の例を示す。これを用い、圧縮緑の $\sigma_{cu} = 800 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\epsilon_{cu} = 4000 \mu$ として計算した終局時引張縁金網のひずみは約3%であり、さらに4倍程度のひずみまで力を受けもつ能力を有している。従って約30%程度までの金網の引張強度の低下はフェロセメントの部材強度の低下にほとんど影響しないといえる。以上のように、かなり過酷な条件下に10年間暴露したにも拘らず部材の劣化が認められなかったことは、高強度軽量モルタルを用いたフェロセメントの海洋構造物への適用が適しているといえる。

絶乾 比重	表乾 比重	吸水率 (%)	F.M.
1.54	1.84	19.0	2.61

表2 人工軽量
細骨材の物理試験
成績

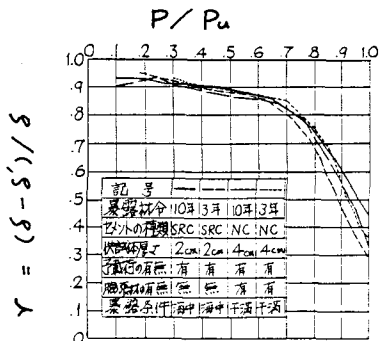


図1 復元力特性の例

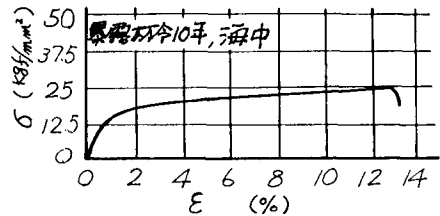


図2 $\sigma - \epsilon$ 曲線の一例

表3 終局耐力および金網の引張強度の経時変化

部材厚 c m	セメントの 種 類	膨張材 の有無	予載荷 の有無	暴露 条件	Mu / b d					(kg f / c m)	金網素線の引張強度				(kg f / m m ²)						
					0	0.5年	1 年	3 年	5 年		10年	0	3 年	5 年		10年					
4	耐 腐 性 型	なし	なし	1 3 3	312 (1.00)	364 335 357	(1.17) (1.07) (1.14)	328 347 349	(1.05) (1.11) (1.12)	350 360 334	(1.12) (1.15) (1.07)	390 374 397	(1.25) (1.20) (1.27)	— 378	(1.21)	40.4 41.8 41.4	(0.95) (0.98) (0.97)	39.6 40.3 39.4	(0.93) (0.95) (0.93)	— 31.5	(0.74)
		なし	有	1 3 3		382 318 308	(1.22) (1.02) (0.99)	328 328 340	(1.05) (1.05) (1.09)	380 380 374	(1.22) (1.22) (1.20)	382 370 385	(1.25) (1.18) (1.22)	— — —	40.4 40.6 41.4	(0.95) (0.98) (0.97)	39.4 39.3 38.1	(0.93) (0.92) (0.92)	— — —	—	
		有	有	2 3 3		325 337	(1.07) (1.00)	348 332	(1.07) (1.02)	349 356	(1.07) (1.13)	370 368	(1.14) (1.13)	355 397	(1.09) (1.22)	— —	40.9 40.8	(0.96) (0.96)	39.3 38.9	(0.92) (0.92)	— —
	普 通	なし	なし	1 3 3	311 (1.00)	331 342 369	(1.06) (1.16) (1.12)	342 334 327	(1.10) (1.07) (1.05)	336 359 346	(1.08) (1.15) (1.11)	350 369 397	(1.13) (1.19) (1.28)	— 357 —	(1.15)	40.8 41.0 41.0	(0.95) (0.96) (0.96)	39.2 39.3 38.3	(0.92) (0.92) (0.90)	— 36.6 —	(0.86)
		有	有	2 3 3		288 328	(1.11) (1.14)	373 348	(1.30) (1.21)	381 334	(1.29) (1.16)	— —	364 347	(1.26) (1.20)	— —	40.9 40.6	(0.96) (0.95)	39.3 38.9	(0.92) (0.88)	— 28.1	(0.73) (0.68)
		なし	なし	2 3 3		133 142 120	(0.94) (1.00) (0.95)	143 135 140	(1.01) (0.95) (0.99)	137 126 130	(0.96) (0.89) (0.92)	— — —	142 124 115	(1.00) (0.87) (0.81)	— — —	32.5 31.4 25.9	(1.04) (1.00) (0.82)	— — —	— — —	— — —	—
2	耐 腐 性 型	なし	なし	2 3 3	146 (1.00)	127 120	(0.87) (0.93)	129 141	(0.88) (0.99)	122 135	(0.84) (1.02)	144 140	(0.99) (0.92)	— —	— —	26.3 23.7	(0.84) (0.85)	28.0 28.0	(0.89) (0.89)	— —	—

暴露条件、1：海風中、2：干満帯、3：海水中