

## [174] 軽量コンクリート海洋構造物の施工時重量管理に関する考察

正会員 ○村山八洲雄（鹿島建設技術研究所）  
 正会員 田沢雄二郎（鹿島建設技術研究所）  
 縫島 健一（鹿島建設土木設計本部）

## 1 はじめに

石油掘削用のコンクリート・プラットフォーム（以下、CPFと呼ぶ）は乾ドックで建造し、オフショアの目的地まで曳航して沈設するものが殆んどである。そのため施工時に厳しい重量管理を要求される場合が多い。この種のCPFには普通コンクリートに比べて品質管理の難しい、低吸水性軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートが使用される場合が少なくない。また図-1に示すように、構造形態として非常に多くの部材で構成されるのがその特徴である。そのため、全体重量の誤差について体系的な検討を行い、これに立脚した効果的な重量管理を行うことが必要になっている。

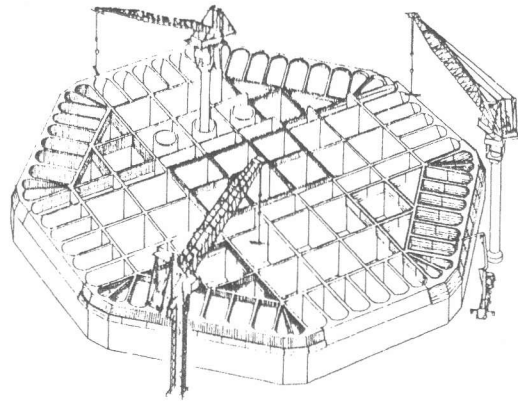


図-1 海洋コンクリートプラットフォーム

そこで本報告では、従来必ずしも明確にされていなかった、躯体重量とこれに影響を及ぼす各要因の関係を考察し、この種の構造物の施工で重点的に管理すべき事項を明らかにした。躯体の重量誤差に影響を及ぼす各要因は、設定値に対するかたよりとばらつきという2面性を有している。また、躯体重量の許容誤差としては、1%程度の値が企業者側から望まれている。そのためここでも、これらを念頭において考察することとした。

## 2 各要因の平均値のかたよりについて

躯体の重量誤差の1次要因として、鉄筋等埋設鋼材の重量、コンクリートの単位体積重量（以下、単重と呼ぶ）及びコンクリート部材の出来形等の誤差がある<sup>1)</sup>。躯体重量のかたよりは各要因のかたよりの量に1次比例するので、この場合要因の影響は直接的である。以下各要因のかたよりについて考える。

## 2.1 鉄筋等埋設鋼材

鉄筋等の埋設鋼材は、基本的にその数量が施工図面に記載される。使用量の多い鉄筋の場合を考えると、重量は、施工図から数量をひろいこれに単位重量を乗じて計算することになる。この場合鉄筋重量のかたよりに影響するものは、実際の単位重量と設定値との差、及び鉄筋長の図面との差である。単位重量の許容誤差はJISで定められており、CPFで使用される範囲の鉄筋径では、±5%程度となっている。鋼材使用量が250kg/㎡程度の場合、平均値が許容誤差程度まで著しくかたよると、躯体重量は0.6%かたよることになり無視できない量となる。ただしこのような場合でも、単位重量の値をメーカー側の協力を得て把握して予め設計段階で考慮するか、または入荷時にチェックすることによって対処できると考えられる。鉄筋の長さの誤差は、上述の5%よりもはるかに小さいので、これによる躯体重量のかたよりは実際上無視できると考えられる。

PC鋼材の誤差は一般に鉄筋の場合よりも小さく、また定着具は予めサンプルの重量を計量することにより精度の高いデータが得られるので、これらが問題になることは希と考えられる。

## 2.2 コンクリートの単位体積重量

CPFでは企業者の仕様で、フレッシュ・コンクリートの単重測定が義務づけられるケースが多い。そして一定打設量またはワークシフト毎に単重を測定し、その結果が次の練り混ぜにフィード・バックされる。したがってこのような場合には、実際上問題になるほどの単重のかたよりは生じないと考えられる。

練り上がりコンクリートの単重が、運搬、待ち時間、締め固め、及び養生硬化にともなってどう変化するかは、低吸水性骨材を用いた高強度軽量コンクリートについては必ずしも明らかでない。そこで実際の生コン・プラントと生コン車を利用して、この変化を調べた。実験は冬期に行い、プラントから実験サイト

までは、運搬時間で約20分の距離であった。コンクリートの28日圧縮強度は約600kg/cm<sup>2</sup>で、粗骨材にはメーカーと吸水率の異なる3種類の軽量骨材を使用した。実験の結果(図-2)、軽量骨材の種類や状態及び打設までの時間や締め固め

表-1 実験に使用したコンクリートの配合

配合番号	Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	空気量 (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )										軽量粗骨材	
					W	C	S	G	A	混和剤 (C/A) (%)				比重	吸水率	
										AE減水剤	AE助剤	高性能減水剤	流動化剤			
1	15	31	36	5±1	150	482	574	518	54	0.25	0.007-0.008	1.0~1.1	0.5~1.05	1.30	0%	
2					150	482	574	542	54	0.25	0.008-0.009	1.3	0.5-0.6	1.30	5.5%	
3					150	482	574	554	54	0.25	0.008-0.009	1.0	0.7-0.85	1.39	13.2%	

によって単重の変化量は異なり、出荷時に対して大きいものは3%にも達することが分かった。この値は躯体の重量管理の観点からは無視できない大きさである。この影響については4で検討する。

### 2.3 コンクリート部材の出来形

CPFの各部材は一般に、厚さを除いて長さ、幅(または高さ)は順次打ち継ぎながら構築され、部材の長さや幅の誤差は工事の進捗に応じて相殺されていくことになる。その結果躯体の体積誤差は、各部材の厚さの誤差と躯体の外形寸法誤差に影響される。一方構造物の出来上がり寸法の許容誤差については、内外の基準類にその値が示されている。しかしここでは一般に寸法に対する許容値の比率は、長さや幅に比べて厚さに関するものが大きい値となっている。

このことから躯体の体積誤差は、実質的には部材厚の誤差に支配されるといえる。

部材の厚さ又はこて仕上げ誤差の平均値は、概して設計値から大きめの方向にかたよる傾向が見受けられる<sup>2)</sup>。そのため、工事の初期の段階または施工性実験でこのかたより量を把握し、以降の工程でこれを補正して實際上無視できる程度のかたより量に押えることが必要となるが、このことはいくつかの浮体構造物の施工において既に行なわれており、一般的にも対応は可能と考えられる。

### 3 各要因のばらつきについて

#### 3.1 躯体重量のばらつきに関する各要因の位置づけ

各要因のばらつきを評価するため、躯体重量と要因間のばらつきに関する関係式を導く。ばらつきの指標としては、標準偏差または変動係数を用いる。一般に躯体の全重量 $W_{RC}$ は、鋼材重量 $W_R$ とコンクリート重量 $W_C$ の和で表され、それぞれ各部材(またはワークシフト)の鋼材重量 $W_{Rj}$ 及びコンクリート重量 $W_{Cj}$ の総和として表される。更に、 $W_{Cj}$ はコンクリートの単重 $\rho$ とコンクリート体積 $V$ の積で表され、 $V$ は部材寸法の積として表される。これらの関係を基に、躯体重量の変動係数と各要因の変動係数の関係を求めると、次のようになる。

$$\left(\frac{\sigma_{RC}}{W_{RCO}}\right)^2 = \sum_j \left[ \left(\frac{W_{Rj}}{W_{RCO}}\right)^2 \left(\frac{\sigma_{Rj}}{W_{RjO}}\right)^2 + \left(\frac{W_{Cj}}{W_{RCO}}\right)^2 \left\{ \left(\frac{\sigma_{\rho j}}{\rho_{jO}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Lxj}}{L_{xjO}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Lyj}}{L_{yjO}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{tj}}{t_{jO}}\right)^2 \right\} \right] \quad (1)$$

ここに、添字のRC、Rまたはr、Cまたはc、及び0はそれぞれ、躯体全体、鋼材、コンクリート、及び平均値に関することを示す。また $\sigma$ は標準偏差、 $n$ は部材の数、 $j$ は部材番号、 $L_x$ 、 $L_y$ 、 $t$ はそれぞれ部材の長さ、幅、及び厚さ、 $V$ は躯体の体積である。

すなわち、躯体の変動係数は、躯体重量に対する部分重量比の2乗と、各要因の変動係数の2乗によ

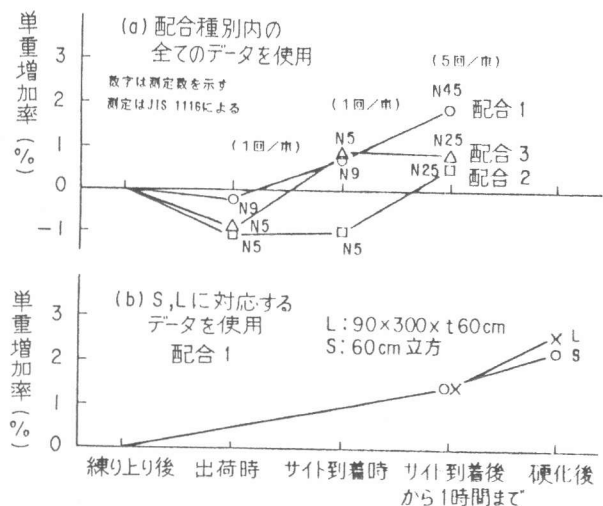


図-2 コンクリートの単位体積重量の変化

て関係づけられ、部分重量と変動係数の大きな要因が倍加的に影響し、そうでない要因の影響は著しく小さくなること分る。

### 3.2 鉄筋等埋設鋼材

一例として鋼材使用量が  $250 \text{ kg/m}$  程度の軀体を考えると、(1) 式中の  $(W_{RO}/W_{RCO})^2$  と  $(W_{CO}/W_{RCO})^2$  の比率は、 $1/50$  程度と非常に小さい値になる。したがって、鋼材重量の変動係数を大きめにとって  $2\sim 3\%$  に仮定したとしても、後述のコンクリート単重の変動係数の想定値  $2\%$ 、及び部材厚の変動係数の想定値  $0.5\sim 2\%$  を併せ考慮すると、埋設鋼材が軀体の重量誤差に与える影響は、実用上無視できると考えられる。

### 3.3 コンクリートの単位体積重量

実験によると(図-3)、各バッチのコンクリート単重の変動係数は配合種別により若干異なり、 $1.7\sim 2.4\%$  の範囲であった。使用したプラントには軽量骨材専用のストック・ヤードを有していなかったこと、実験前日の天候が大雪であったこと、及び実工事のバッチ数と比べると非正常レベルのデータであること等を考慮すると、実際の場合よりも幾分大きめの値と考えられる。

この変動係数は3バッチを生コン車で混合することにより減少するが、サイト到着後は経過時間の相違(最大1時間の相違)等の影響で、練り上がり単重の場合と同程度まで大きくなった。硬化後は単重の測定精度が良いこと、及び被測定コンクリートの体積が大きいこと等の理由で、変動係数はフレッシュ・コンクリートの場合よりも小さくなっている。単重のばらつきが軀体重量のばらつきに及ぼす影響については、上述のデータを勘案しながら4で検討する。

### 3.4 コンクリート部材の出来形

2.2で述べた実験では、実規模の部材試験体の厚さの測定も行った。その結果によると、厚さの誤差は基準類の許容値を十分満足し、セパレータの弾性伸びを予め考慮しておくことにより、更に誤差を小さくできることが分かった。しかしここではとりあえず、部材厚の変動係数が  $ACI 347^3)$  の厚さの許容誤差相当と見做すものとし、これが軀体重量に及ぼす影響は、4で検討する。

## 4 軀体重量のかたよりとばらつきについて

### 4.1 軀体重量のばらつき

平均値のかたよりによる誤差とばらつきによりもたらされる誤差の影響量を相対的に把握するため、図-1のCPFを対象に、要因のばらつきを考慮したシミュレーション解析によって軀体重量の頻度分布を求め、その影響度合を調べた。この構造物の主要部材はおよそ表-2示すような寸法と数量になっており、平面的に9ブロックに分割され、9リフトで構築される。

部材の出来形誤差は安全側の検討として、厚さのみならず長さ、幅のばらつきも考慮するものとし、 $ACI 347$ で規定されている許容誤差が  $1\sigma$  (安全側の検討) で各独立に生じるものとした。コンクリートの単重は、安全側に少なめのデータ数とし、ブロック毎及びリフト毎に独立に総計81個考慮し、変動係数は

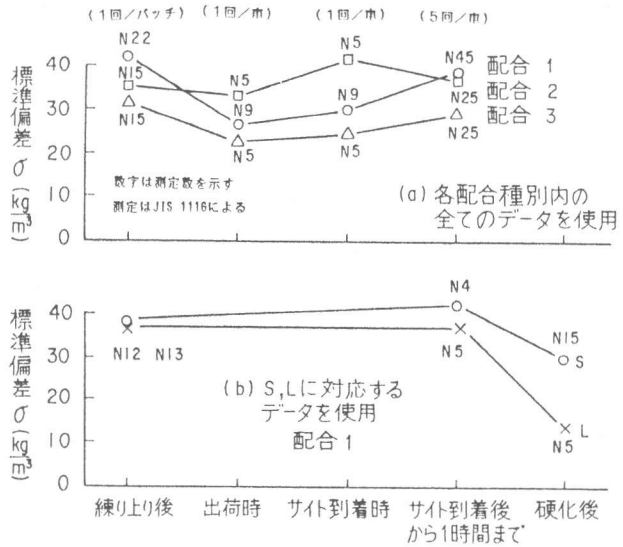


図-3 コンクリートの単位体積重量の標準偏差の変化

部材の出来形誤差は安全側の検討として、厚さのみならず長さ、幅のばらつきも考慮するものとし、 $ACI 347$ で規定されている許容誤差が  $1\sigma$  (安全側の検討) で各独立に生じるものとした。コンクリートの単重は、安全側に少なめのデータ数とし、ブロック毎及びリフト毎に独立に総計81個考慮し、変動係数は

表-2 軀体内の部材の種類と部材数

注) 上欄の数字は、上からそれぞれ、厚さ、長さ、幅(高さ)を示す。単位ft。  
表中の数字は、部材の数を示す。

部材の種類	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
リフト	t1.5 37 17	t2.5 44 17	t4.2 17.75 h10	t2 24 h10	t2 37 h7	t1.17 17.75 h10	t1 37 h10	t2 20 h7	t1 13 h10	t4.2 17.75 h10	t1.17 17.75 h10	t2 32 h7	t1.5 37 17	t1 37 17
① 底版	82	56												
② 0~10'			64	56	23	104	70	16	20					
③ 10~20'			64	56		104	70		20					
④ 20~30'			64	56		104	70		20					
⑤ 30~40'			64	56		104	70		20					
⑥ 40~50'			64	56	23	104	70	16	20					
⑦ 50~60'										64	48	56		
⑧ 60~70'										64	48	56		
⑨ スラブ													80	58

3. 3の結果をもとに比較的大きめにとって2%とした。寸法及び単重は実用上正規分布と考えても大過ないので、ここでも正規分布と仮定した。解析結果を図-4に示す。躯体重量の変動係数は約0.2%で、単重等の変動係数に比べて著しく小さくなっていることが分かる。ここで、CPFが全て同一形状寸法の部材で構成されている場合を想定すると、(1)式から(2)式が得られる。

$$\frac{\sigma_{RC}}{W_{RCO}} = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \left( \frac{\sigma_{\rho_i}}{\rho_{jo}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{t_i}}{t_{jo}} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

すなわち部材数やワークシフトの数が増えると、コンクリートの単重や部材厚のばらつきは、躯体に対しては極めて鈍感にしか影響しないといえる。

#### 4. 2 躯体の重量誤差

まず躯体重量の平均値のかたよりを考えると、これに主として影響しそうなものは、コンクリート単重と部材厚のかたよりであった。このうち部材厚のかたよりは、代表的な部材の厚さが60cm(2ft)程度であれば、施工時の管理により0.5%以下に押えることは十分可能である。コンクリートの硬化に至る単重の変化量は、出荷時単重に対して場合により3%程度にもなる大きい値である。したがってこの量を具体的な条件を設定しないで推定した場合には、単重の推定値に対して1~2%のかたよりが生じることが十分考えられる。そしてほぼ同様のことが躯体重量についても考えられる。

一方躯体重量の変動係数は、コンクリートの単重や部材厚の変動係数の量に比べて桁違いに小さくなり、0.2%程度以下になることが分かった。このことは躯体重量の起こりうる誤差として3σを考えると、0.6%以下に相当する。すなわちばらつきによって起こりうる躯体重量の誤差は、過大に見積っても0.6%程度以下と考えることができる。

以上のことから、躯体の重量誤差にはコンクリート単重のかたよりが最も大きく影響するすることが分かった。したがって躯体の重量を精度良く管理するためには、具体的なコンクリートの配合と施工計画を十分考慮し、予備実験を行うなどして、練り上がりから硬化に至るまでのコンクリート単重の変化量を精度良く推定することがキーポイントであるといえる。

#### 5 あとがき

石油掘削用プラットフォームの上載設備分野では、重量管理の良し悪しが全体コストに敏感に影響することが認識されてきている。そのため実際のプロジェクトにおいて、重量管理技術者に権威をもたせようとする動きがある<sup>5)</sup>。このような趨勢にあって、CPF躯体でもより精度の高い重量管理が要求されるであろう。

#### 参考文献

- 1) 野尻、コンクリート構造物の話題、特集・おもしろいぞ予測と信頼性、土木学会誌、Vol. 69、1984年10月、pp40~42.
- 2) 百島、カンチレバー架設したプレストレストコンクリート橋における断面力及び挙動の研究、土木学会論文報告集、第240号、1975年8月、pp113~128.
- 3) ACI Standard Recommended Practice for Concrete Formwork (ACI 347-78), ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE.
- 4) 岡田、コンクリートの比重と管理、特集・東京港沈埋トンネル工事報告、コンクリート・ジャーナル、Vol.12、No. 3、March 1974、pp14~17.
- 5) Weight engineers press for status and authority, Offshore engineer, July 1984, pp30~41.

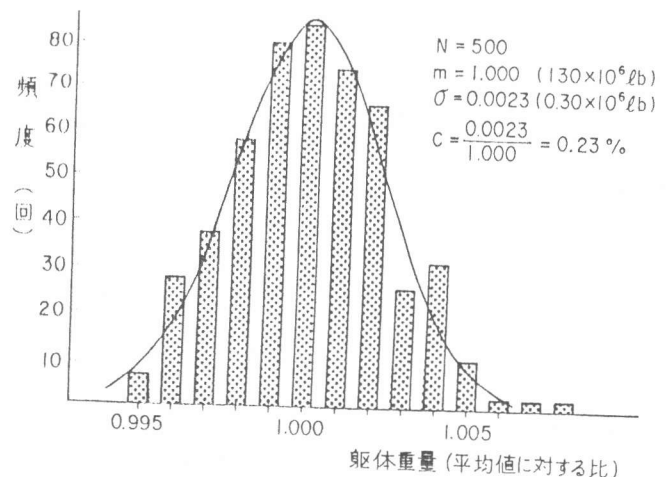


図-4 躯体重量の頻度分布