

コンクリート製大型浮体構造物の概略設計

清水建設(株) 正会員 ○中島浩世 小野秀平
清水建設(株) 竹内真幸 吉田郁夫

1. はじめに

洋上における空港や風力発電施設など、海洋空間活用の観点から浮体構造物が注目されている。筆者らはコンクリート製大型浮体構造物による外洋の未来都市構想 GREEN FLOAT¹⁾ (以下、構想Ⅰ) を提案している。同時に、その派生モデルとして、沿岸域を想定立地とした小型施設 (図1、以下、構想Ⅱ) の技術検討を行っている。

構想Ⅱは、構想Ⅰを具体化し、実現性を検証するため、想定立地を東京湾内とした縮小モデル (約 1/10) である。構想Ⅱは、下部浮体部分の直径 210m、上部タワー部分の高さ 120m の高層建築を有する海洋構造物であり、過去に例のない浮体構造であるため、基本計画を策定するにあたり第三者機関から基本計画の妥当性について認証を受けることとした。そこで筆者らは、構想Ⅱの概略設計を行い、一般財団法人 日本海事協会に AIP (Approval in Principle: 設計基本承認) を申請し、2017 年 12 月に同協会の概念認証を得た。本稿では、今回認証を得た構想Ⅱの概略設計について、コンクリート製大型浮体構造物設計の一例として報告する。

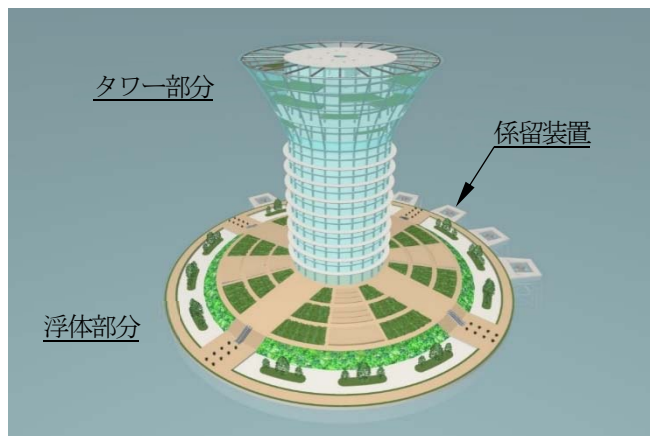


図 1. 構想Ⅱ完成イメージ

2. 構造解析

動揺解析および波浪解析により、暴風・波浪時に浮体構造物に作用する荷重を算出した後、浮体部分の各部材に発生する応力を把握するために構造解析を行った。算出された部材応力をもとに浮体を構成する部材の評価を行った。表1に荷重条件を、図2に解析モデル図を示す。解析結果は、荷重条件ごとに応力度 (断面力) の集計を行った。図3に応力コンター図の一例を示す。

表 1. 荷重条件

荷重1	荷重2	荷重条件
静荷重時*	静水時	浮体部自重
		自重+積載荷重
	波浪時	再現期間: 1年
組合せ荷重時**	暴風時	再現期間: 10年
		再現期間: 200年

*: 静荷重状態: 全体強度に影響を及ぼす静荷重(積載荷重、自重)のみを受けている状態

**: 組合せ荷重状態: (I)に加え動的荷重(風・波など)、およびこれらの荷重により生じる船舶の運動加速度と傾斜により生じる荷重の組合せ荷重を受けている状態

(鋼船規則・P 編より)

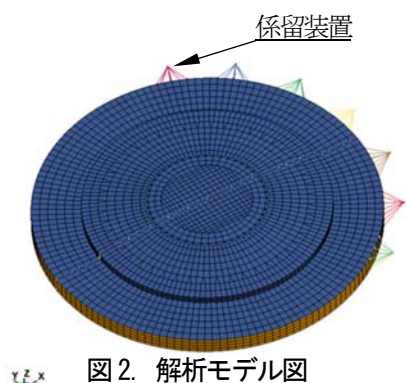


図 2. 解析モデル図

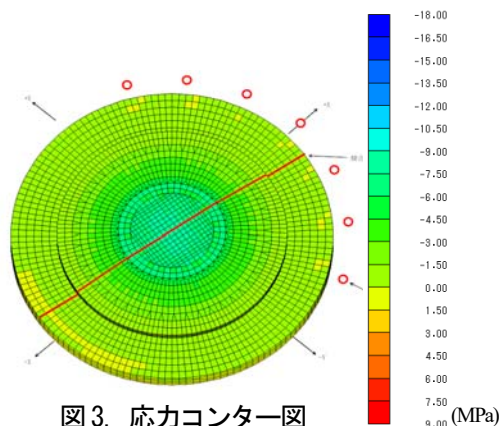


図 3. 応力コンター図

キーワード 海洋空間利用、コンクリート製浮体、大型浮体構造物、AIP

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社

TEL 03-3561-3898

3. 設計(評価)

3.1. 許容応力度

AIP 認証では許容応力度法により安全性の照査を行った。許容応力度は道路橋示方書²⁾をもとに、鋼船規則・P 編に規定される安全係数を満足する値を設定した。例としてコンクリートの許容応力度を表2に示す。

3.2. 要求性能(限界状態)

構造設計で確認する要求性能は、安全性、使用性、耐久性とした(表3)。

3.3. 性能照査

性能照査項目として、本稿では断面破壊、疲労破壊、水密性について以下に示す。

(1) 断面破壊

部材に発生する応力度を確認した結果、当初想定した RC 断面では、鉄筋の許容引張応力度を超過する箇所が確認された。引張応力度を低減するため、PC 鋼材の配置によるプレストレスの導入と、浮体内の隔壁にハンチを設けることで部材を補強し、鉄筋の引張および圧縮応力度が許容応力度を満足することが確認できた。

(2) 疲労破壊

再現期間 1 年の波浪において、浮体コンクリート部材の鉄筋に生じる変動応力は概ね 1-2 N/mm² 程度であった。疲労限界を大きく下回るオーダーであるため、疲労安全性が確認できた。

(3) 水密性

浮体の底版および外周隔壁は水密性が要求される。水圧が常に作用するコンクリート部材の許容ひび割れ幅は 0.1-0.2 mm 以下が望ましいといわれている³⁾ことから、最大ひび割れ幅が 0.1 mm 以下となるようプレストレスを導入した。断面計算結果より、静荷重状態ではフルプレストレス状態、組合せ荷重状態ではひび割れ幅が 0.1 mm 以下となることが確認できた。

4. 終わりに

構想Ⅱは浮体構造物である一方、大型コンクリート構造物であることから、鋼船規則をそのまま適用できない点がいくつか見られた。筆者らは道路橋示方書などの土木基準と組合せることで設計検討を進め、日本海事協会による AIP 認証を受け、特定条件下でのコンクリート製浮体構造物の設計の妥当性が認められた。一方で認証の付帯事項として、係留ドルフィンを介して海底地盤から伝達する地震運動の影響評価や、海洋におけるコンクリートの許容ひび割れ幅の妥当性についてなど課題が挙がったが、解決に向けて今後検討を進めていく。

表 2. コンクリートの許容応力度

項目	単位	静荷重	組合せ荷重	備考
設計基準強度	N/mm ²	40.0	40.0	-
許容曲げ圧縮応力度	N/mm ²	14.0 (0.35)	17.5 (0.44)	括弧内は安全係数
許容軸圧縮応力度	N/mm ²	11.0	13.7	-
許容せん断応力度 a1	N/mm ²	0.23	0.28	コンクリートのみで負担
a2	N/mm ²	2.2	2.7	斜引張鉄筋と共同して負担

<参考文献>

1)清水建設 HP

<https://www.shimz.co.jp/topics/dream/content03/>

2)(公社)日本道路協会、道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、2012 年

3)伊藤ら、高水圧下におけるコンクリートのひび割れからの漏水に関する研究、1992 年

表 3. 性能照査項目

要求性能	限界状態	評価項目	対象部材および材料
安全性	断面破壊	曲げ耐力、せん断耐力	コンクリート部材
	疲労破壊	変動応力度(S-N曲線)	コンクリート、鋼材
使用性	応力度制限値	最小主応力度	コンクリート部材
		引張応力度	PC鋼材
	水密性	応力度制限、ひび割れ幅	コンクリート部材
耐久性	変位・変形	変位量、変形量	浮体部、フェンダー
	鋼材腐食	ひび割れ幅	鋼材