

揺れない浮体構造物に関する研究

RESEARCH ON ANTI-ROLLING FLOATING STRUCTURES

和田 耕造¹・加納敏幸²・真壁知大²

木原一禎³・松浦正己⁴・笹島圭輔⁵

Kouzou WADA, Toshiyuki KANOU, Tomoo MAKABE
Kazuyoshi KIHARA, Masami MATSUURA and Keisuke SASAJIMA

- ¹国土交通省名古屋港湾空港工事事務所 (〒455-0045 名古屋市港区築地町2)
²沿岸開発技術研究センター (〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16)
³正会員 三菱重工業(株)広島製作所 (〒730-8642 広島市中区江波沖町5-1)
⁴三菱重工業(株)長崎研究所 (〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1)
⁵三菱重工業(株)広島研究所 (〒730-8642 広島市中区江波沖町5-1)

While floating structures have many advantages such as environment-friendly, their rolling vibration caused by waves makes people indisposed and stevedoring inefficient. It is necessary to improve working efficiency on them by reducing their vibration to spread floating structures. We have developed vibration reduction systems. This paper shows validity of those systems by numerical analysis and experiments, and design methods of them.

Key Words : Floating structure, vibration reduction system, SLO-ROL tank, anti-rolling tank, TMD

1. はじめに

浮体構造物は環境への影響が小さい、地震の影響が少ない、水深や海底地盤の状況に関係なく海域を利用できる、工期が短いという特徴がある反面、波浪等により生じる動揺が利用者の乗降及び荷役の効率低下を招いている。浮体の適用範囲拡大のためには、動揺を低減し、浮体の利便性及び快適性を向上させた浮体構造物の開発が必要である。そこで(財)沿岸開発技術研究センターに委員会(委員長:広島大学工学部 高木幹雄教授)を設け、日本財団の補助事業として、平成9年度から平成11年度までの3年間にわたり研究を行った。本報では、この研究の中で行った浮体橋を対象とした動揺制御技術の開発、数値計算及び水槽実験による性能検証、また、動揺制御技術を適用した浮体構造物の設計法についてその概要を報告する。

2. 研究概要

本研究では、我が国における浮体建造実績を考慮して、長さ70m、幅15m、高さ3.2m、喫水2.3mの浮体を対象にした。また、浮体が多数利用されている

表-1 海象条件

波向	全方向
波高	$H_{1/3}=0.5\text{m}$
周期	$T_{1/3}=2\sim12\text{s}$
風向	全方向
風速	15m/s
潮位差	4m
水深	10m

表-2 動揺制限目標値

目標レベル	加速度	Roll角	用途
1	30Gal	3°	浮体橋、ヘリポート等
2	50Gal	5°	浮体橋、物揚場等
3	70Gal	5°	台船、作業船等

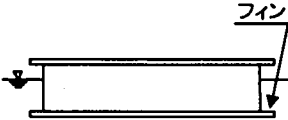
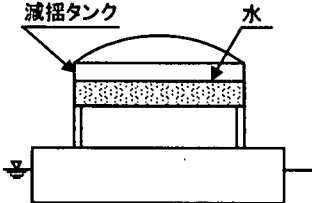
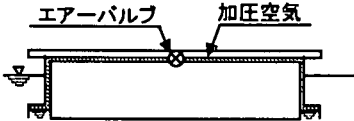
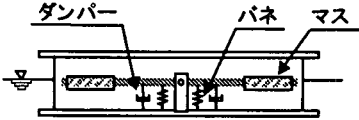
瀬戸内海のような内海を対象とし、表-1に示す海象条件を設定した。なお、浮体構造物の動揺に関する調査の結果、航走波(波周期6s以下)による揺れ(Roll)の被害が最も多いため、周期6s以下の波を対象に動揺制御機構を検討した。動揺低減目標値としては、文献1)より表-2に示す値を設定した。

3. 動揺制御機構および原理

本研究では、船舶等に適用されている動揺制御技術を分類・整理し、浮体への適用性を検討した。その結果、表-3 に示す単純な構造で効果が大きい4 タ

イプの動揺制御機構を対象に検討することとした。なお、各種機構の動揺制御原理も表-3 に合わせて示す。

表-3 動揺制御機構の原理・特徴

動揺制御機構	機構概念図	原理・特徴
水線幅変更タイプ		・水線幅減少量の限界は、静的安定性の面から規定される。 ・浮桟橋規模の浮体の場合、Roll 固有周期 (3～5s 程度) が入射波浪と同調する場合が多いため、これを避けるために有効である。 ・水平没水フィンの張り出しによる、付加質量及び減衰力の増大。動揺低減及び共振周期の長周期化が可能。
減揺タンク上載タイプ		・自由水の存在による浮体のGMの減少により、共振周期が長周期化する。 ・水のスロッシングによる動吸振器として作用。 ・減揺タンク中央に水通過抵抗部材を設置することにより、タンク水の高次波成分除去及び最適減衰の設定が可能。 ・タンク設置高さは高い位置が良いため、屋根構造部分を利用するのが得策である。
SLO-ROL タンク付加タイプ		・エアバルブを開くことにより、左右舷のタンク空気圧が一定に保たれ、復原モーメントが小さくなる。そのため、共振周期が長周期化する。 ・エアバルブの開閉を制御することで、SLO-ROL タンク使用の最適化が可能。
TMD 制振装置付加タイプ		・Roll 運動に対して共振することで、振動エネルギーを吸収する動吸振器として作用。 ・TMD の振動エネルギーはダンパーで消費される。 ・浮体内部に設置する場合、制振装置の振幅が制限される。 ・陸上構造物での実用実績が多く、動揺制御効果の信頼性が高い。

4. 水槽実験

(1) 供試模型

3. で選定した動揺制御機構の性能検証のため、水槽模型実験を実施した。供試模型は、縮尺 1/15 の二次元模型とし、さらに長さ方向には、水槽幅 (2.5m) の影響で 1/1.88 (供試模型実機長さ 37m/想定実機長さ 70m) の部分模型とした。各模型の要目を表-4 に示す。

(2) 実験条件

波および風向きは真横波 (90°) とした。実験は内海での使用条件 (波高 : 0.5m, 周期 : 4s~6s) を主体に実施した。

- ・規則波
波高=0.5m, 波周期=3.0~12.0s
- ・不規則波
波スペクトル : Bretschneider-光易型
有義波高=0.5m
有義波周期=4, 6, 8s

(3) 結果および考察

a) 水線幅変更タイプ

Roll 応答の振幅を、計算結果と比較して図-1 に示す。基本タイプは規則波中 Roll のピークは 4.6s 付近にあるが、計算値と実験値はほぼ一致している。

b) 減揺タンク上載タイプ

Roll 応答の振幅を、計算結果と比較して図-2 に示す。

減揺タンク水の高次の振動成分を取り除くため、タンク中央部に網状の材料 (ヘチマロン) を入れ、最低次のタンク水運動だけ発生させた。実験値は計

算値の傾向と良く一致しており、規則波中 Roll ピーク値を 2 分の 1 程度に低減し、前後の周期にそれぞれ小さなピークができる二重振り子の応答の傾向を表している。不規則波中の上下加速度有義値は 40Gal 程度であった。

c) SLO-ROL タンク付加タイプ

Roll 応答の振幅を、計算結果と比較して図-3 に示す。Roll 固有周期は、タンク水効果によって 7.7s となっている。その結果、波周期 4~5s 付近の規則波中 Roll 振幅が非常に小さくなっている。

SLO-ROL タンクの効果により、不規則波中の加速度は基本タイプに比べてかなり小さく抑えられており、加速度応答が 30Gal 以下に低減されている。

d) TMD 制振装置付加タイプ

Roll 応答の振幅を、計算結果と比較して図-4 に示す。TMD 作動時は、Roll のピーク値が 30%程度低減されており、それにより不規則波中加速度も基本タイプに比べて低減され、目標加速度 30Gal をほぼ達成している。

機構の種類により効果に差があるものの、航走波による動揺が問題となる 4~6s の波に対しては、Roll 振幅の低減、固有周期の長周期化により、いずれの機構も動揺制御効果が現れている。とくに、SLO-ROL タンク付加タイプの効果が大きいことが明らかになった。加速度応答は、SLO-ROL タンク付加タイプは 30Gal 以下に、TMD 制振装置付加タイプは 35Gal 程度に、減揺タンクは 40Gal 程度に動揺が制御されることが明らかとなった。各機構により効果が異なるため、表-2 に示した目標レベルに応じて動揺制御機構を選定する必要がある。

表-4 要目表

	長さ	幅	水線面幅	深さ	吃水
	L*	B	BI	D	d
	m	m	m	m	m
基本タイプ	37.2	15	15	3.2	2.2
水線幅変更タイプ	37.2	15	13	3.2	2.2
減揺タンク上載タイプ	37.2	15	15	3.2	2.2
SLO-ROLタンク付加タイプ	37.2	15	13	3.2	2.2
TMD付加タイプ	37.2	15	15	3.2	2.2

* 想定実機 L=70m の部分模型

減揺タンク	長さ	幅	水線面積	高さ	水位
	LTK**	BTK	ATK	DTK	WHT
	m	m	m ²	m	m
	5.31	10	53.1	6.2	2.0

2基搭載 **想定実機 LTK=10m の部分模型

SLO-ROLタンク	長さ	幅	高さ	水線面積	水位	縦	横	面積
	LTK	BTK	HO	A	WHT	DLTK	DBTK	a
	m	m	m	m ²	m	m	m	m ²
	9.3	1.0	1.0	9.30	0.50	1.0	0.2	0.2

4 対搭載

TMD	質量比	同調比	減衰定数
	MD***	TD	DD
	0.07	0.95	0.30

4 基搭載

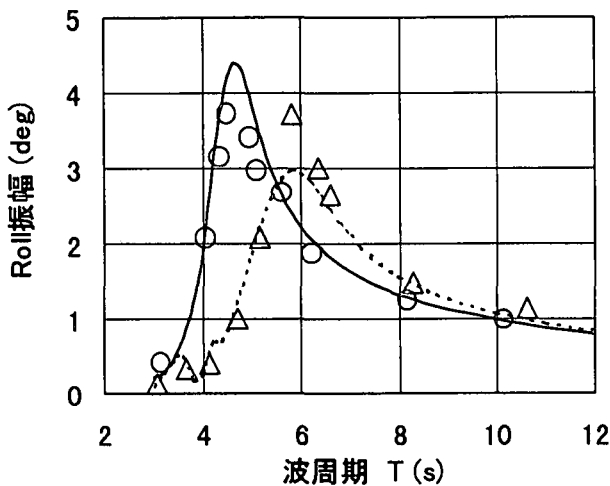


図-1 水線幅変更タイプ

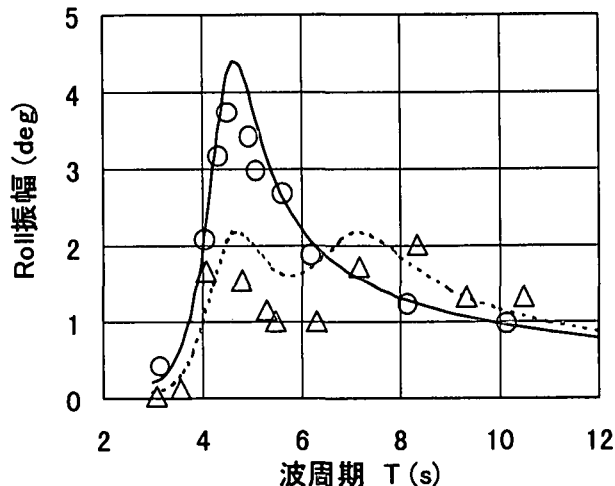


図-2 減揺タンク付加タイプ

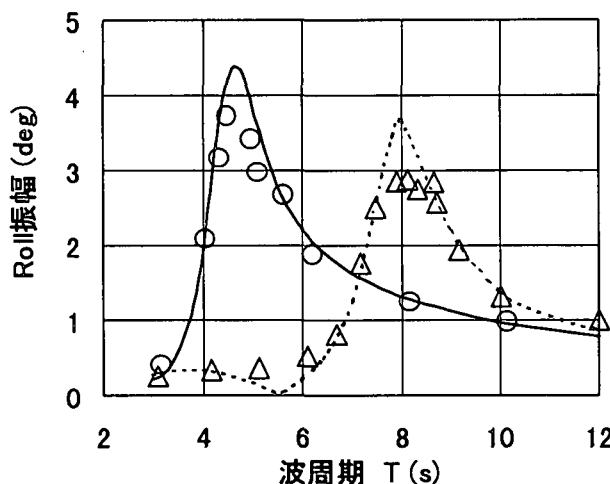


図-3 SL0-ROL タンク付加タイプ

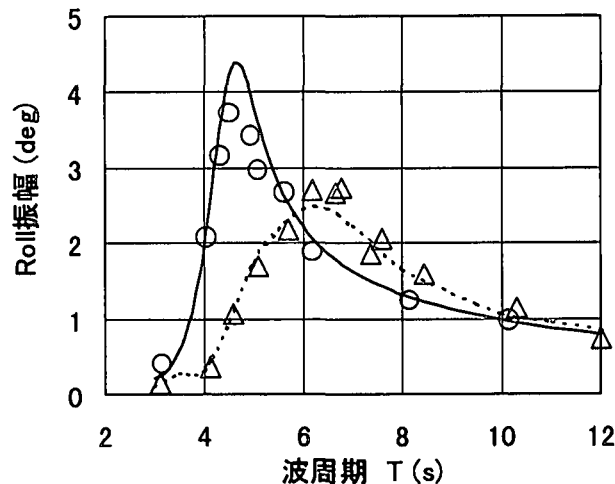


図-4 TMD 付加タイプ

〔 ○：基本タイプ実験値，△：動揺制御機構付加タイプ実験値
—：基本タイプ計算値，---：動揺制御機構付加タイプ計算値 〕

5. 設計法について²⁾

(1)適用範囲

本研究では，3. において提案した4種類の動揺制御機構を幅広く活用できるように設計法について検討した．主に航走波，港内および内海の周期 4～6s の波に対する浮体構造物の応答を設計対象とした．また，対象とする浮体規模を表-5 に，自然条件を表-6 に示す．なお，本設計法は，一例として，RC ハイブリッド構造を取り上げ作成したものである．そのため，その他の構造の場合は別途検討する必要がある．

(2)設計フロー

浮体の動揺制御設計のフローチャートを図-5 に示す．浮体構造物の基本型が決定されると，図-7, 8, 9 より，基本型の固有周期，動揺量，加速度がそれぞれ推定できる．この結果と表-2 より動揺制御機構が必要か否かが判断できる．必要な場合，図-6 に従い動揺制御機構の選定を行う．

表-5 浮体構造物の適用規模

浮体幅	浮体長さ	吃水
10～20m	100m 以下	1.7m 程度

表-6 自然条件

潮位差	3m
水深	10m (±1.5m)
波向 β	90deg
波高 $H_{1/3}$	0.5m
周期 $T_{1/3}$	4～6s
風速 V_{10}	10m/s
風向 β	90deg

(3)動揺制御機構の選定

(2)で動揺制御機構が必要な場合に，適切な機構が選択できるように，選択チャートを作成した．図-10～12 は，SL0-ROL タンク付加型の例を示したものである．同図により，機構付加後の浮体の固有周期，動揺量 (Roll 角) および加速度 (上下) を概略推定することができる．

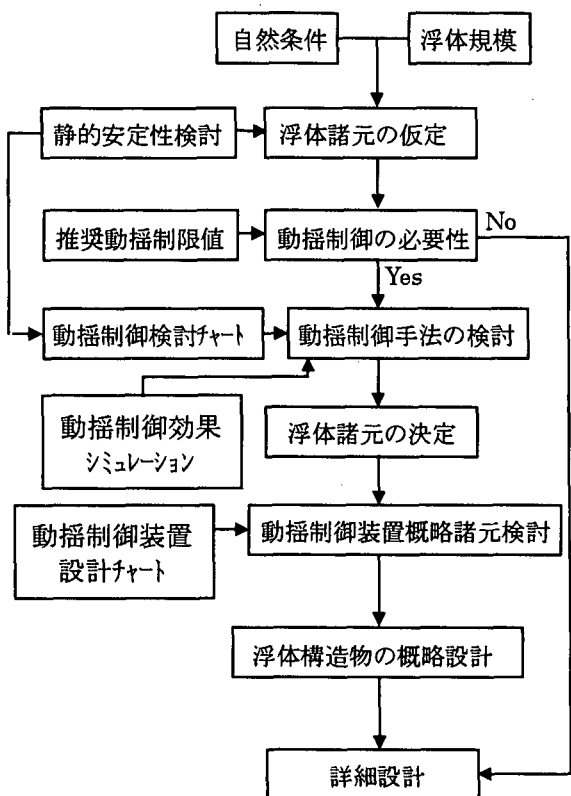


図-5 動揺制御設計フローチャート

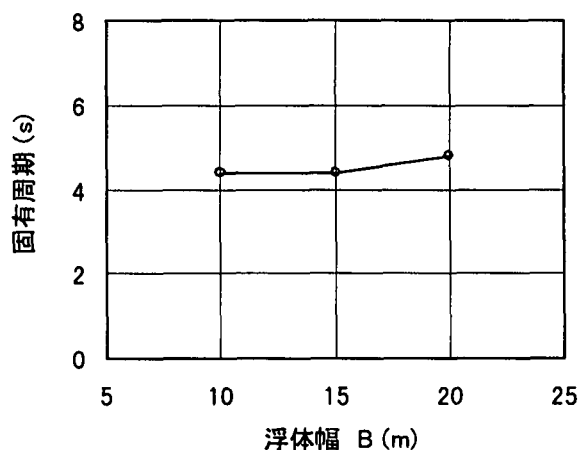


図-7 基本浮体構造物の固有周期

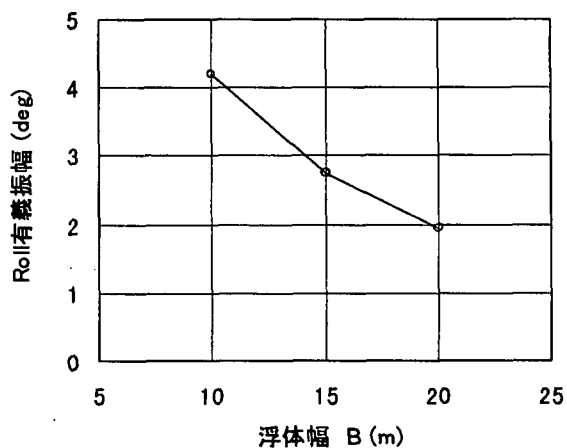


図-8 基本浮体構造物の動揺量

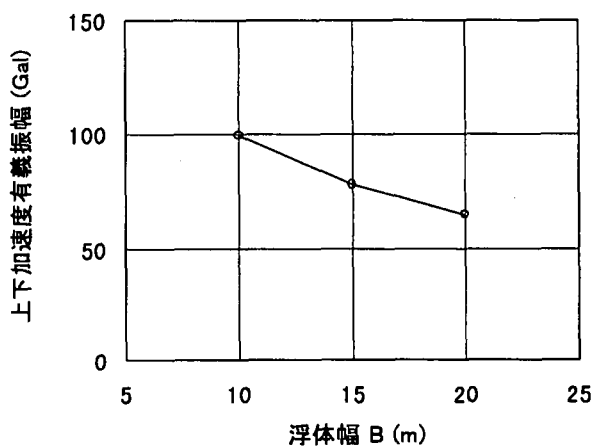


図-9 基本浮体構造物の加速度

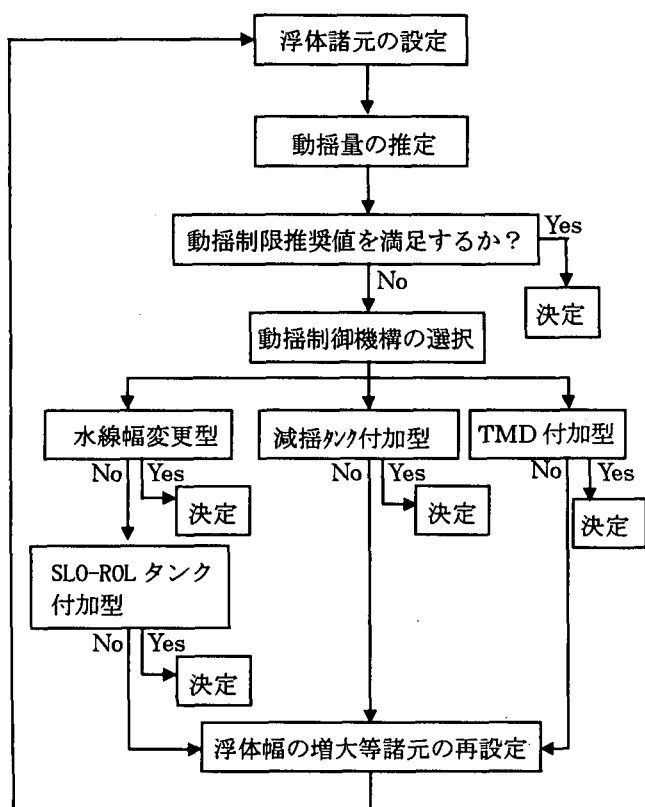


図-6 動揺制御機構の選択フローチャート

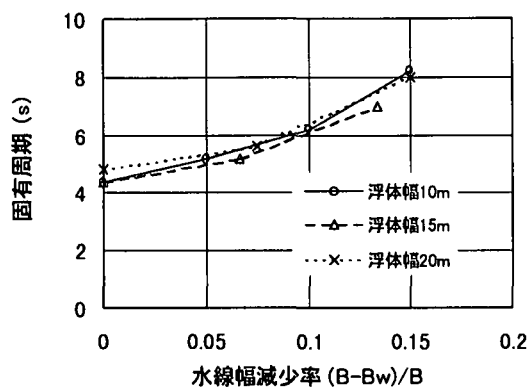


図-10 SLO-ROL タンク付加型の固有周期

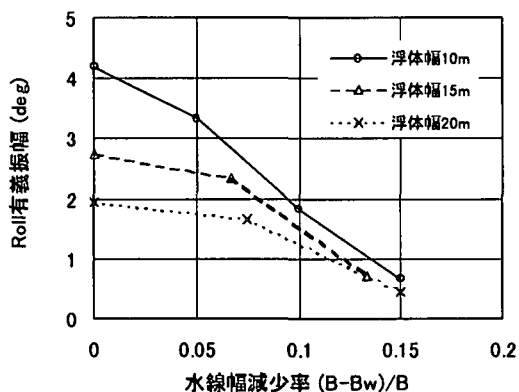


図-11 SLO-ROL タンク付加型の動揺量

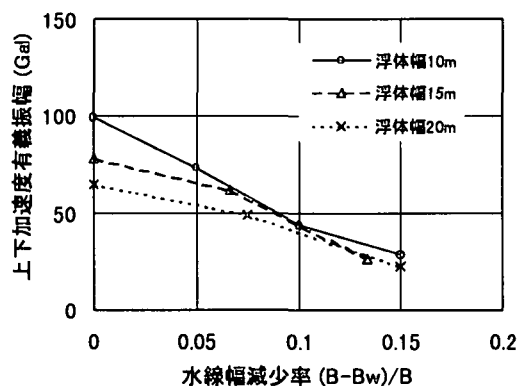


図-12 SLO-ROL タンク付加型の加速度

これにより、動揺制限目標値を満足する浮体諸元を決定することができる。なお、図の動揺量、加速度は不規則波による応答計算結果の周期 4～5s 間の最大値を示したものである。

6. まとめ

本研究では、浮体構造物が航走波等により生じる主に 4～6s の周期の揺れを低減することを目的に、動揺制御機構を開発し、水槽試験および数値解析による検証、また、その設計法を提案した。得られた成果は以下の通りである。

- (1) 4 種類の簡易な動揺制御機構を考案し、水槽試験および数値解析により、4～6s の揺れに対しては、すべてのタイプで動揺制御効果が確認された。
- (2) 動揺制御機構により効果に差があり、SLO-ROL タンク付加タイプが最も動揺制御効果が大いだが、動揺制限目標値、動揺制御機構の設置場所(浮体構造物の内部、屋根部分等)に応じて動揺制御機構を選択することができる。
- (3) 開発した動揺制御機構を幅広く活用するための設計法を示した。

本研究は、日本財団の補助を受け実施したもので、「揺れない浮体構造物の研究委員会」の委員長(広島大学 高木教授)を始めとする委員の皆様にご心より感謝致します。

なお、揺れない浮体構造物の第 1 号機として、現在、広島県倉橋島に水線幅変更タイプの浮桟橋を建造中であることを付記する。

参考文献

- 1) ISO2631 Proposal, 1977.
- 2) (財) 沿岸開発技術研究センター: 揺れない浮体構造物設計マニュアル, p88, 2000.