

鋼構造シリーズ 13

浮体橋の設計指針

土木学会

鋼構造シリーズ 13

浮体橋の設計指針

土木学会

鋼構造シリーズ 13

浮体橋の設計指針

土木学会

Steel Structures Series 13

Guidelines for Design of Floating Bridges

March, 2006

Japan Society of Civil Engineers

はじめに

浮体橋の研究小委員会は、浮体橋に関する国内および諸外国の事例調査研究及び設計・施工・維持管理の指針の作成を目的に活動してきました。鋼構造委員会の委員長その他の方々のお勧めを頂き平成10年10月に発足し、平成14年6月末に成果品の性能照査型設計法に基づく第一次「浮体橋の設計指針(案)」が完成しました。現在、性能照査型設計法は世界的な趨勢でありますし、我が国の道路橋示方書も平成14年3月をもって性能照査型に改訂されております。その後も維持管理など、さらに内容を充実させるために委員会を延長させて頂き、鋼構造シリーズ「浮体橋の設計指針」の執筆を進めるため出版委員会を設立し、「浮体橋の設計指針(案)」の増補・改定原稿の最終確認を行い、ここに成果を取りまとめました。

今、従来型の橋梁に限定しますと、スパン長を最大にできる橋は吊橋もしくは斜張橋であり、スパンの長大化、すなわち、重力との戦いをめぐって激しい世界的技術競争が行われてきました。その際もっとも重要な要素がケーブルであり、現在では平行ピアノ線が最も適した材料として用いられています。世界一のスパン長(1991m)である明石海峡大橋では破断強度が1800MPaのものが開発され、使用されています。現在の技術レベルでは4000MPaも夢ではないでしょう。つまり、半径3mmのワイヤで約12トンの象も吊れることでしょう。しかし、このような高強度のピアノ線を用いまして、鋼の比重が大きいため、せいぜいスパン長3000mクラスの吊橋が実際上の限界ともいわれており、炭素繊維強化プラスチックなど高強度、軽量材料の応用技術開発が重要な開発課題となっています。

これに反し、浮体橋では重力の影響は支配的ではなくなりますので場合によっては極めて有利な設計が可能となります。河川・湖沼・海は従来型の橋梁の建設においては障害となりますが、浮体橋では浮力により復原力を得るという利点も存在します。浮体橋の歴史は実に4000年前に遡るとも言われ、過去様々な場所に様々な橋が架けられてきました。しかし、科学的な観点に立った設計が取り入れられ始めたのはつい最近の話に過ぎません。架設海域の水深が大き過ぎるか、あるいは地盤が超軟弱な場合は従来の形式の橋梁にとらわれてばかりいてはいけません。また、38万平方キロメートルの陸地面積に過ぎなかったわが国は、200海里的排他的経済水域によって451万平方キロメートルの一大海洋国家になりました。当然、海洋沿岸域の有効活用が必然ですから、大型浮体空港のみならず、コンピューター空港、海上都市、海上牧場、フローティング棧橋、海上廃棄物処理工場、海上発電所、宇宙太陽光発電受信中継基地、レジャー基地、マリナーなどができ上がっていくでしょう。これらへのアクセスは浮体橋などになりそうです。

どうか本指針をお手元におかれましてご参考にしていただければ幸いです。このような機会を頂きました土木学会の鋼構造委員会には厚く御礼申し上げる次第です。

平成17年10月

土木学会 鋼構造委員会
浮体橋の研究小委員会
委員長 渡 邊 英 一

土木学会 鋼構造委員会
浮体橋の研究小委員会名簿 (50音順・敬称略)

委員長 ○渡邊 英一 (1章)

委員 伊藤 恭平 (3章, 4章) ○上田 茂 (総括)
○宇都宮智昭(7章, 9章, 13章) ○大久保 寛 (4章, 9章)
陵城 成樹 (10章) 岡村 秀夫 (総括)
勝俣 盛 (11章) 川谷 充郎 (7章, 11章)
河野 健二 (7章) ○日下 理 (5章, 7章)
小林 治俊 (総括, 6章) ○坂井田 実 (10章)
○曾我 明 (11章) 高須賀丈広 (12章)
高野 光史 (13章) ○竹鼻 直人 (6章, 12章)
○田中 洋 (1章, 7章) 谷口 朋代 (9章)
○土屋 昌義 (4章, 7章) 寺田 和己 (総括)
直江 康司 (8章, 13章) ○永田 修一 (7章)
中谷 眞二 (12章) 長山 秀昭 (8章, 13章)
難波 康広 (9章) 能登 宥愿 (8章, 12章)
○麓 興一郎(2章, 4章, 5章) ○増井 直樹 (1章, 13章)
○松岡 幸文 (13章) ○丸山 忠明 (7章)
三上 隆 (総括, 5章) 水田 洋司 (5章, 7章)
皆田 理 (6章, 12章) 村越 潤 (2章, 3章, 4章)
森内 昭 (11章) ○米山 治男 (1章)

委員兼幹事 山本 広祐 (総括)

前委員 石原 謙治 井上 幸一
ゲンカタマナ カッタ 岡崎 悦治
久米 仁司 栗野 純孝
小林 茂 白石 悟
高城 信彦 増山 琢也

○：幹事会メンバー、()内：執筆担当箇所

鋼構造シリーズ 13

浮体橋の設計指針

目次

1章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語	2
付1.1 浮体橋の歴史と事例	5
付1.2 浮体橋の特徴	13
付1.3 浮体橋の適用条件	14
付1.4 浮体橋の適用性の高い水域	15
2章 基本計画条件	17
2.1 道路条件	17
2.1.1 道路構造規格	17
2.1.2 浮体の性能条件	17
2.2 計画基準面	18
2.2.1 計画基準面	18
2.2.2 計画水位	18
2.3 平面・縦横断線形	18
2.4 周辺環境による浮体橋への影響	19
2.5 地域防災計画	19
2.6 その他特殊条件	19
2.6.1 航路条件	19
2.6.2 浮体橋が周辺環境へ及ぼす影響	20
2.6.3 水域に関する適用法規	20
2.6.4 維持管理への配慮	20
3章 浮体橋設計の基本	22
3.1 浮体橋設計の基本理念	22
3.2 設計供用期間	22
3.3 浮体橋の重要度	23
4章 要求性能と照査方法	24
4.1 一般	24
4.2 要求性能	24
4.2.1 対象とする要求性能	24
4.2.2 安全性	24

4.2.3 使用性.....	25
4.2.4 修復性.....	25
4.2.5 施工性.....	26
4.2.6 維持管理性.....	26
4.3 照査方法.....	26
5章 荷 重	28
5.1 荷重の種類.....	28
5.2 荷 重.....	29
5.2.1 死荷重.....	29
5.2.2 活荷重.....	29
5.2.3 衝 撃.....	29
5.2.4 土 圧.....	29
5.2.5 静水圧（浮力を含む）.....	29
5.2.6 風荷重.....	30
5.2.7 波浪の影響（うねりを含む）.....	30
5.2.8 地震の影響（地震時動水圧を含む）.....	32
5.2.9 温度変化の影響.....	32
5.2.10 水流の影響.....	32
5.2.11 潮汐の影響.....	33
5.2.12 地盤変動の影響.....	33
5.2.13 支点移動の影響.....	33
5.2.14 雪荷重.....	33
5.2.15 遠心荷重.....	33
5.2.16 津波の影響.....	33
5.2.17 高潮の影響.....	34
5.2.18 副振動.....	34
5.2.19 航跡波.....	35
5.2.20 海 震.....	35
5.2.21 制動荷重.....	35
5.2.22 施工時荷重.....	35
5.2.23 衝突荷重（船舶衝突を含む）.....	35
5.2.24 流氷と着氷による影響.....	36
5.2.25 漂砂の影響.....	38
5.2.26 漂流物の影響.....	38
5.2.27 生物付着の影響.....	38
5.3 荷重の組合せ.....	39

6章 使用材料	45
6.1 一般	45
6.2 コンクリート	45
6.2.1 使用材料	45
6.2.2 防食の方針	45
6.2.3 劣化機構（劣化要因）の把握	46
6.2.4 防食工法	48
6.3 鋼材	51
6.3.1 使用材料	51
6.3.2 防食の方針	51
6.3.3 防食区分	51
6.3.4 耐候性鋼	52
6.3.5 防食工法	52
6.3.6 電気防食工法	54
6.3.7 塗覆装工法	55
6.3.8 工法の選定	55
6.4 その他の特殊材料	58
6.4.1 係留索	58
6.4.2 係留フェンダー	59
6.4.3 その他の材料	60
6.5 設計計算に用いる物理定数	60
7章 浮体橋特有の設計項目と解析	62
7.1 構造計画	62
7.1.1 構造計画	62
7.1.2 全体構造系の選定項目	62
7.2 安定性	63
7.2.1 静的安定性	64
7.2.2 動的安定性	64
7.2.3 損傷時の安定性	65
7.3 変位に関する検討	65
7.3.1 鉛直方向変位	66
7.3.2 水平方向変位	66
7.3.3 傾斜	67
7.4 全体構造解析	67
7.4.1 一般	67
7.4.2 静的解析	67

7.4.3	動的解析	68
7.4.4	入力条件の設定	68
7.4.5	波浪中弾性応答による影響	69
7.4.6	模型実験	72
7.5	走行安定性	72
7.5.1	一般	72
7.5.2	走行シミュレーション	73
7.5.3	走行安定性の評価方法	74
7.6	疲労に対する検討	74
7.6.1	一般	74
7.6.2	風・波の発生頻度分布と応力頻度分布	74
7.6.3	疲労安全性の評価方法	75
7.7	地震の影響	77
7.7.1	一般	77
7.7.2	長周期地震波の設定	77
7.7.3	地震応答解析	77
8章	浮体橋本体の設計	80
8.1	一般	80
8.1.1	浮体橋本体の定義	80
8.1.2	設計一般	80
8.2	橋体部の設計	80
8.2.1	橋体部の設計	80
8.2.2	橋体部構造の選定	81
8.2.3	橋体部各部の設計	81
8.2.4	橋体部の防食	81
8.3	浮体部の設計	81
8.3.1	浮体部の設計	81
8.3.2	浮体部構造の選定	82
8.3.3	浮体部の浸水に対する区画割り	82
8.3.4	船舶の衝突	83
8.3.5	浮体部各部の設計	83
8.3.6	浮体部の防食	84
8.3.7	付帯設備	84
9章	係留構造の設計	85
9.1	一般	85

9.1.1	係留構造の形態	85
9.1.2	配置及び基数	87
9.1.3	係留設計の方針	87
9.2	係留構造に関する挙動解析	88
9.2.1	一般	88
9.2.2	風, 波, 流れ	88
9.2.3	地震	91
9.2.4	温度	91
9.2.5	津波, 副振動, 長周期波による影響	91
9.3	係留構造の設計	92
9.3.1	一般	92
9.3.2	ドルフィン・フェンダー係留	92
9.3.3	カテナリー係留	94
9.3.4	TLP方式係留	96
9.3.5	両端固定係留	98
10章	下部構造の設計	99
10.1	一般	99
10.1.1	下部構造の定義	99
10.1.2	設計一般	99
10.2	考慮すべき荷重	100
10.3	基礎形式選定における配慮	101
10.4	躯体形状	101
10.5	支持層の選定	102
10.6	安定検討	102
11章	付帯設備の設計	103
11.1	接続構造の設計	103
11.1.1	一般	103
11.1.2	緩衝桁の設計	104
11.1.3	支 承	106
11.2	伸縮装置の設計	109
11.3	維持管理設備の設計	112
11.3.1	一般	112
11.3.2	点検通路及び作業空間	113
11.3.3	アクセス用施設	113
11.3.4	喫水調整用設備	114

11.3.5	浸水対策設備	114
11.3.6	防食対策設備	115
12章	維持管理	117
12.1	維持管理の考え方	117
12.1.1	一般	117
12.1.2	維持管理の方針	119
12.1.3	浮体橋特定点検	121
12.1.4	異常時点検	128
12.1.5	劣化・損傷度の評価基準	131
12.1.6	劣化・損傷に対する対策	135
12.2	ライフサイクルコスト	136
12.2.1	方針	136
12.2.2	ライフサイクルコストの算出	136
13章	浮体橋の試設計	139
13.1	試設計の対象橋梁	139
13.2	A橋の試設計	141
13.2.1	設計フロー	141
13.2.2	基本計画条件	142
13.2.3	設計の基本方針	142
13.2.4	外力条件	143
13.2.5	使用材料	143
13.2.6	基本構造諸元の設定	143
13.2.7	安定性の検討	149
13.2.8	全体構造解析による浮体橋の動揺検討	151
13.2.9	浮体橋部の設計	158
13.2.10	係留構造部（接続構造）の設計	162
13.2.11	防食設計	169
13.2.12	疲労強度検討	169
13.3	B橋の試設計	170
13.3.1	設計フロー	170
13.3.2	基本計画条件	171
13.3.3	設計の基本方針	171
13.3.4	設計荷重および外力条件	172
13.3.5	使用材料	172
13.3.6	基本構造諸元の設定	173

13.3.7	安定性の検討	174
13.3.8	浮体橋部の設計	176
13.3.9	係留部の設計	178
13.3.10	防食設計	180
13.4	その他の浮体橋の試設計例	181
13.4.1	ドルフィン係留された浮体橋の試設計例	181
13.4.2	海中ケーブルで係留された浮体橋の試設計例	181
参考資料		
1.	設計風速の設定方法（本編 5.2.6 の参考資料）	185
1.1	設定方法	185
1.1.1	設計基本風速 (V_{10})	185
1.1.2	スペクトル	185
1.1.3	観測データの補正	186
1.1.4	確率風速	186
1.2	台風シミュレーション	187
1.2.1	モデル台風の設定	187
1.2.2	計算結果	189
1.3	まとめ	190
2.	鋼の防食工法（本編 6.3.5 の参考資料）	191
2.1	電気防食工法	191
2.2	塗覆装工法	192
2.2.1	塗 装	192
2.2.2	有機ライニング	193
2.2.3	ペトロラタムライニング	194
2.2.4	無機ライニング	196
3.	風・波浪作用下での剛体浮体橋の動揺解析（本編 7.4.3 の参考資料）	201
3.1	解析の目的	201
3.2	浮体橋の動揺計算法	201
3.2.1	浮体の運動方程式	201
3.2.2	流体力計算法	203
3.2.3	波浪荷重	206
3.2.4	風荷重	209
3.2.5	係留力	210
3.3	夢舞大橋への適用例	212
3.3.1	計算条件	212
4.	地震応答解析の事例（本編 7.7.3 の参考資料）	219

4.1 地震動の選定.....	219
4.2 浮体橋の地震応答解析の方法.....	221
4.3 浮体橋と固定橋の比較.....	228
4.4 入力地震波と地震応答の関係.....	229
5. 維持管理事例（本編 12.1.3, 12.1.4 の参考資料）.....	232