

中水槽を利用した研究の紹介（その1）

流体設計系 実海域性能研究グループ長 久米 健一

目次

1. 浅水試験
2. EEDIweatherの認証試験
3. 船体弾性振動計測試験
4. ライザー管の渦励振（VIV）計測試験

浅水試験

1. 試験の目的

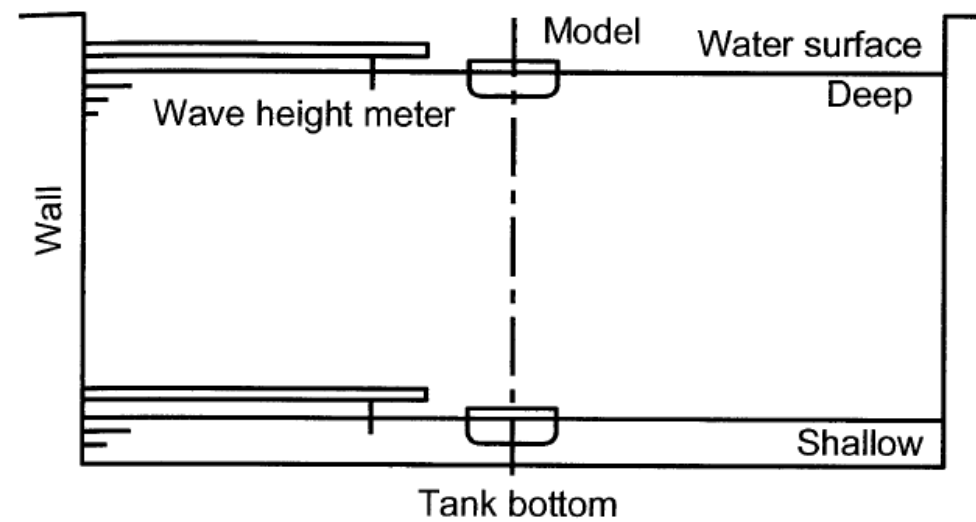
- 実船による速力試験は深水深の海域で実施するのが基本だが、やむを得ず大陸棚など深水深とみなせない場所で行われることがある。
- その場合の**速力試験**（海上試運転）結果については**浅水影響の補正**が必要である。
- 2017年版までのITTCガイドライン（※）には、2種の補正方法（Lackenby法、Raven法）が記載されていたが、その検証のために浅水状態での推進性能試験、波形計測を実施した。

（※） 7.5-04-01-01.1 Procedure of Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials

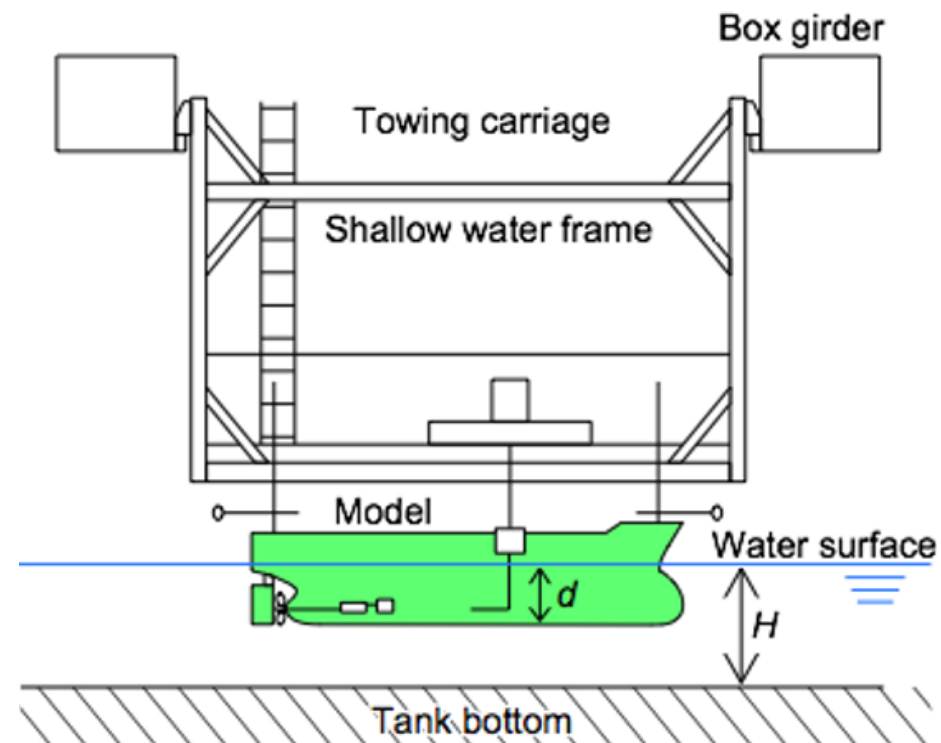
上記ガイドライン2021年版では、検証結果を踏まえ、Raven法のみが記載となった。

2. 試験状態

- 中水槽は**水位が変更できる**ため、異なる水深/喫水比での曳航試験が可能。



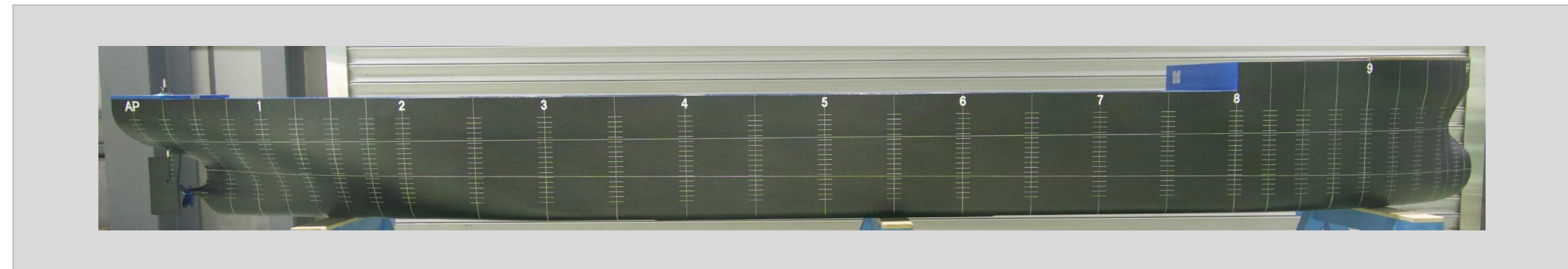
- 浅水試験時には曳引車に**浅水試験用の計測桁**を搭載する。



3. 模型船と試験条件

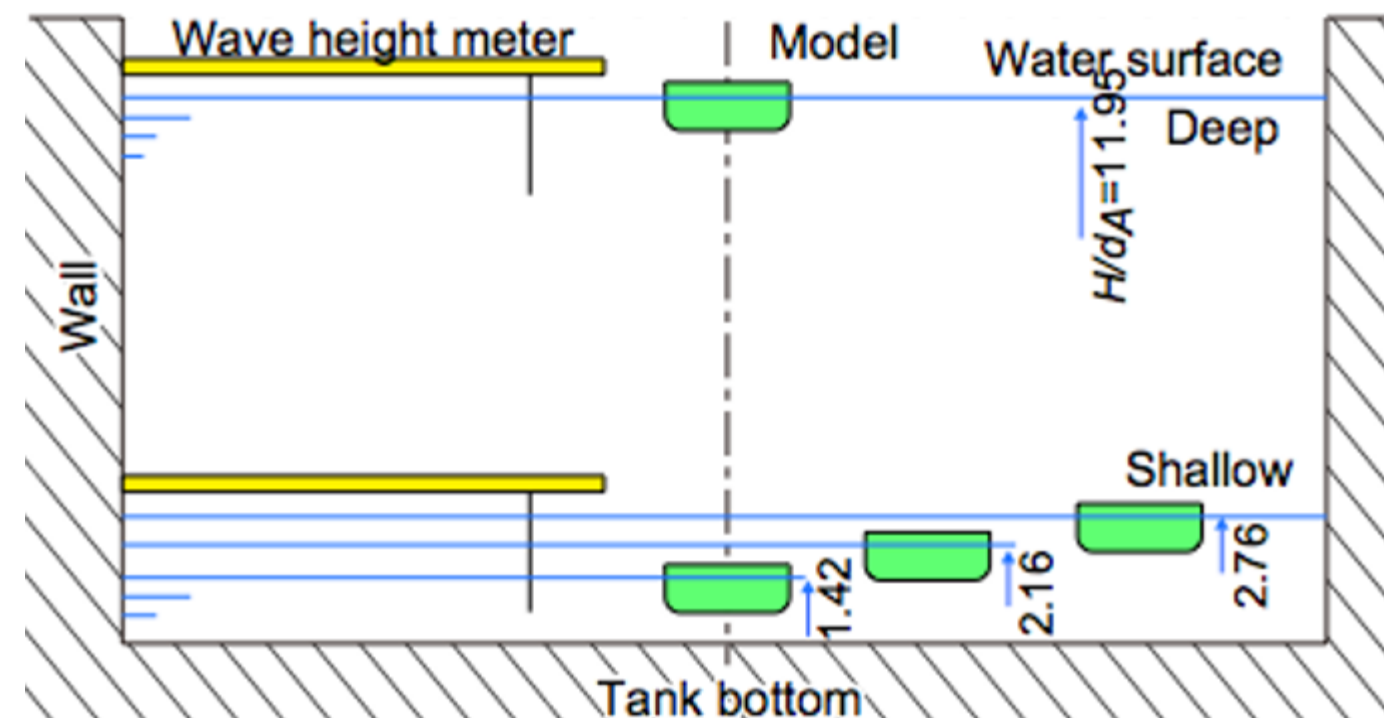
■ Japan Bulk Carrier (JBC)

	Full scale	Model scale
Ship length (L_{pp})	280.0 m	4.828 m
Breath (B)	45.0 m	0.776 m
Draft (full loading)	16.5 m	0.285 m
C_B	0.858	
Scale ratio	58.0	



■ 抵抗、自航試験、波形計測

- ✓ 水深 (深 : 1、浅 : 3)



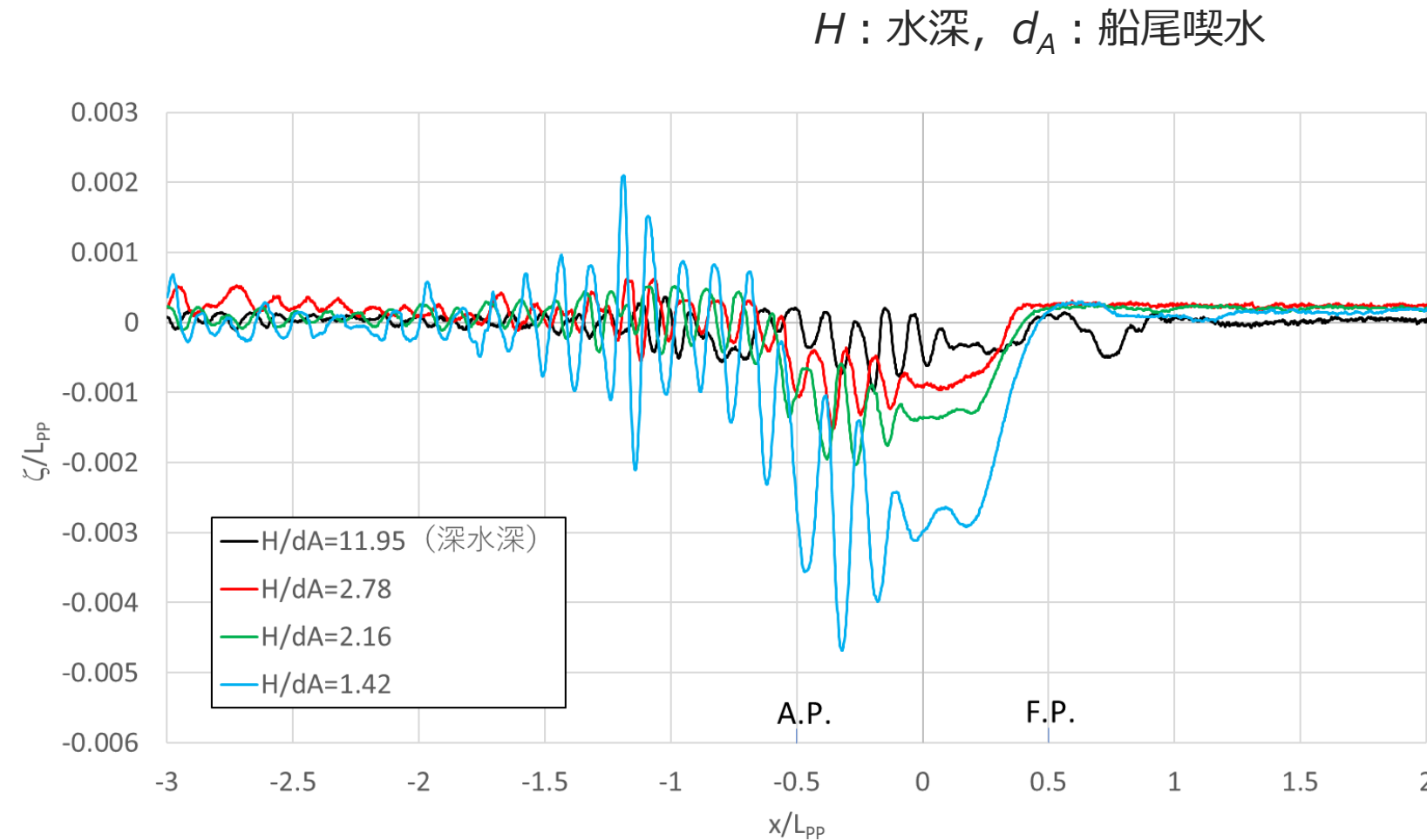
4. 試験の様子 (動画)

■ 浅水試験



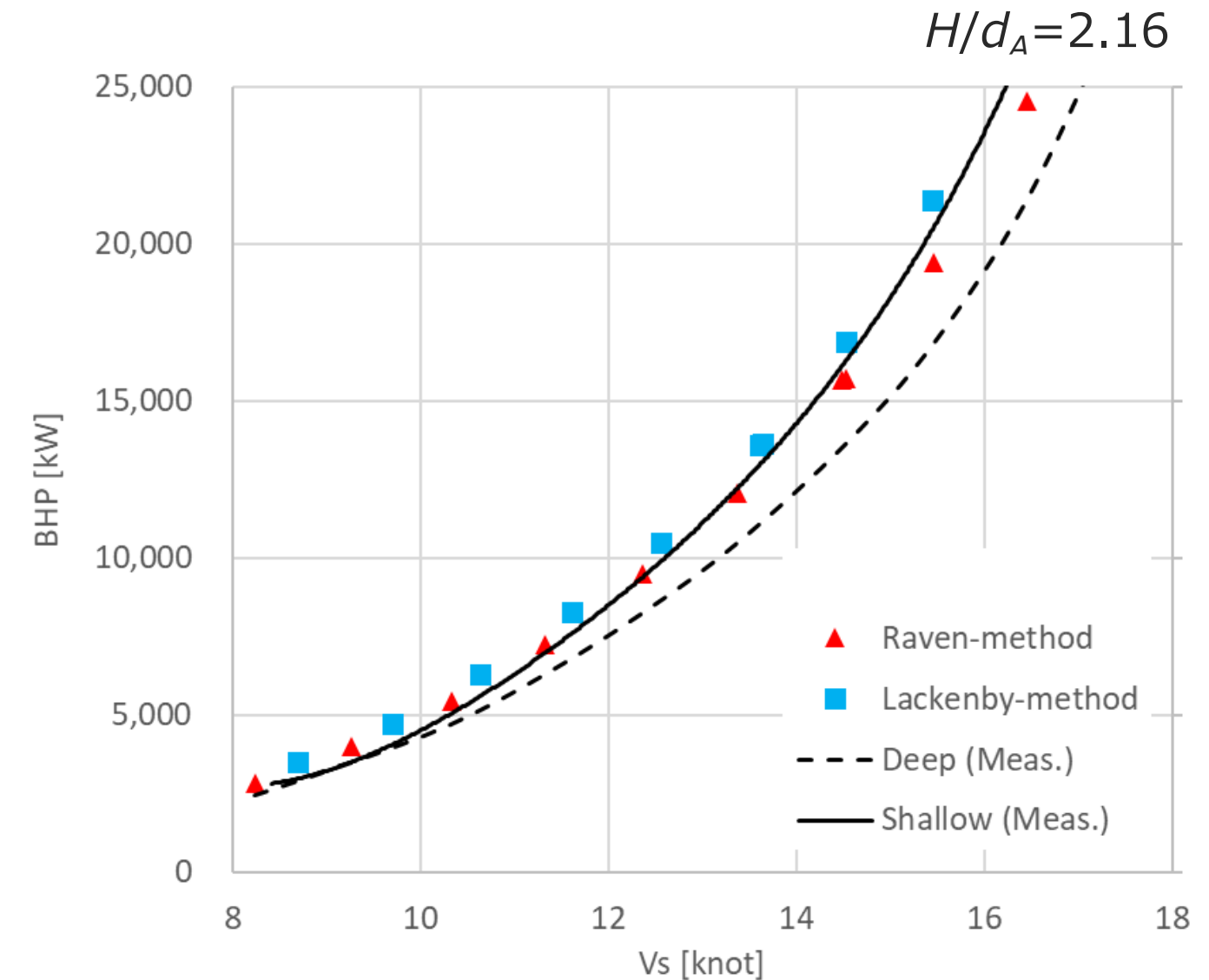
5. 計測結果

■ 波形



水深が浅くなるほど航走波の波高(谷の深さ)が大きくなった。

■ 所要馬力



水深を変化させて浅水影響補正方法の検証を行った結果、水槽試験結果との一致度と過大推定しにくいという傾向からRaven法が優位と判断した。この結果はITTCへ提供され、試運転解析ガイドラインの改正に貢献した。

藤沢純一, 深澤良平, 辻本勝: 浅水試験による抵抗・自航性能と船速・馬力評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第25号, 2017.

EEDIweatherの認証試験

1. 試験の目的

- 波や風のない静穏な状態での燃費性能を対象とした**EEDI**（エネルギー効率設計指標）規制は2013年1月に発効している。

EEDI計算式（トンマイル当たりのCO₂排出量を表す）

2018 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} *) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} ** \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

EEDIでは $f_w = 1$ として計算

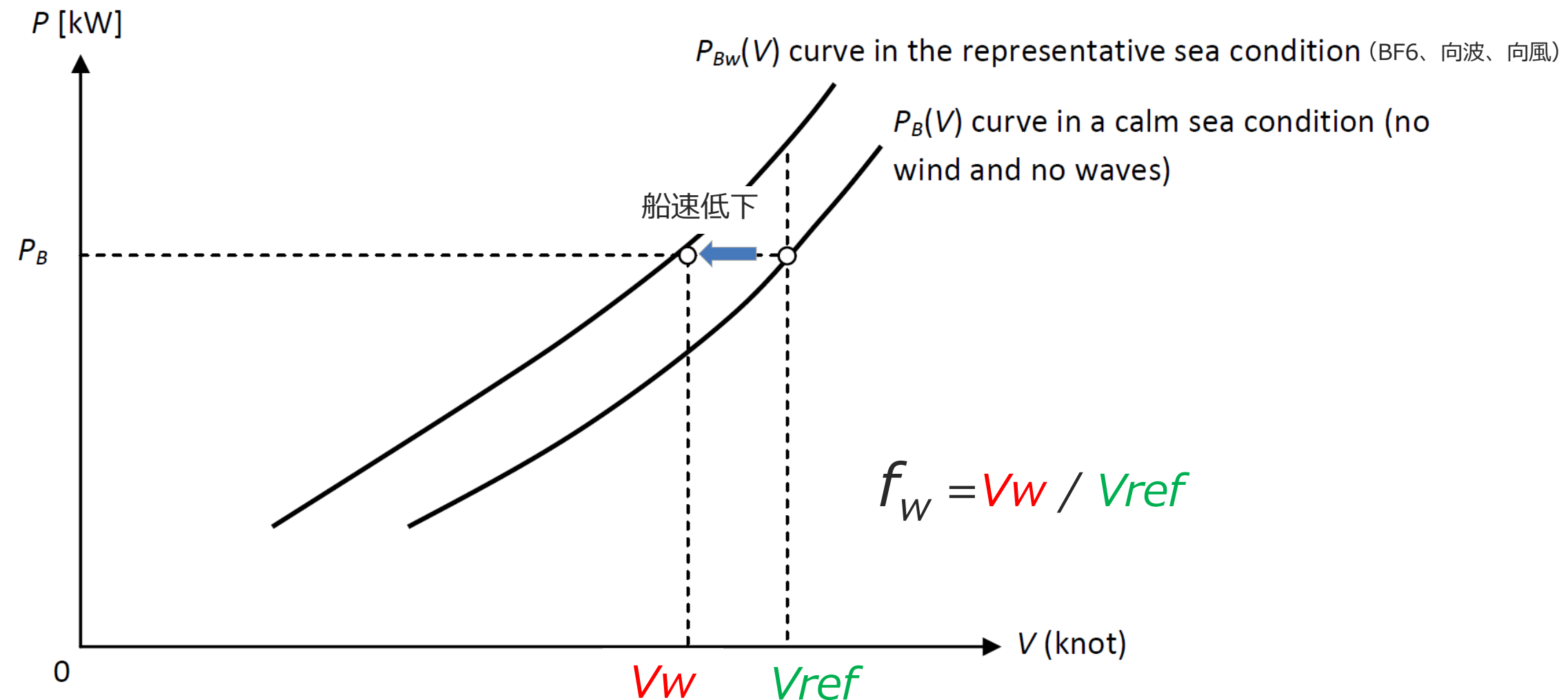
- **実運航時**における船舶の燃費性能**EEDI_{weather}**については、代表的な海象状態(※)での**速力低下係数 f_w** を考慮することで評価が可能。

(※) ビューフォート風力階級6、向波、向風

- f_w を算定するために**短波長規則波中抵抗試験**を実施した。

2. 速力低下係数 f_w

- 波と風による抵抗増加を考慮した場合の、同一馬力における**船速比**である。

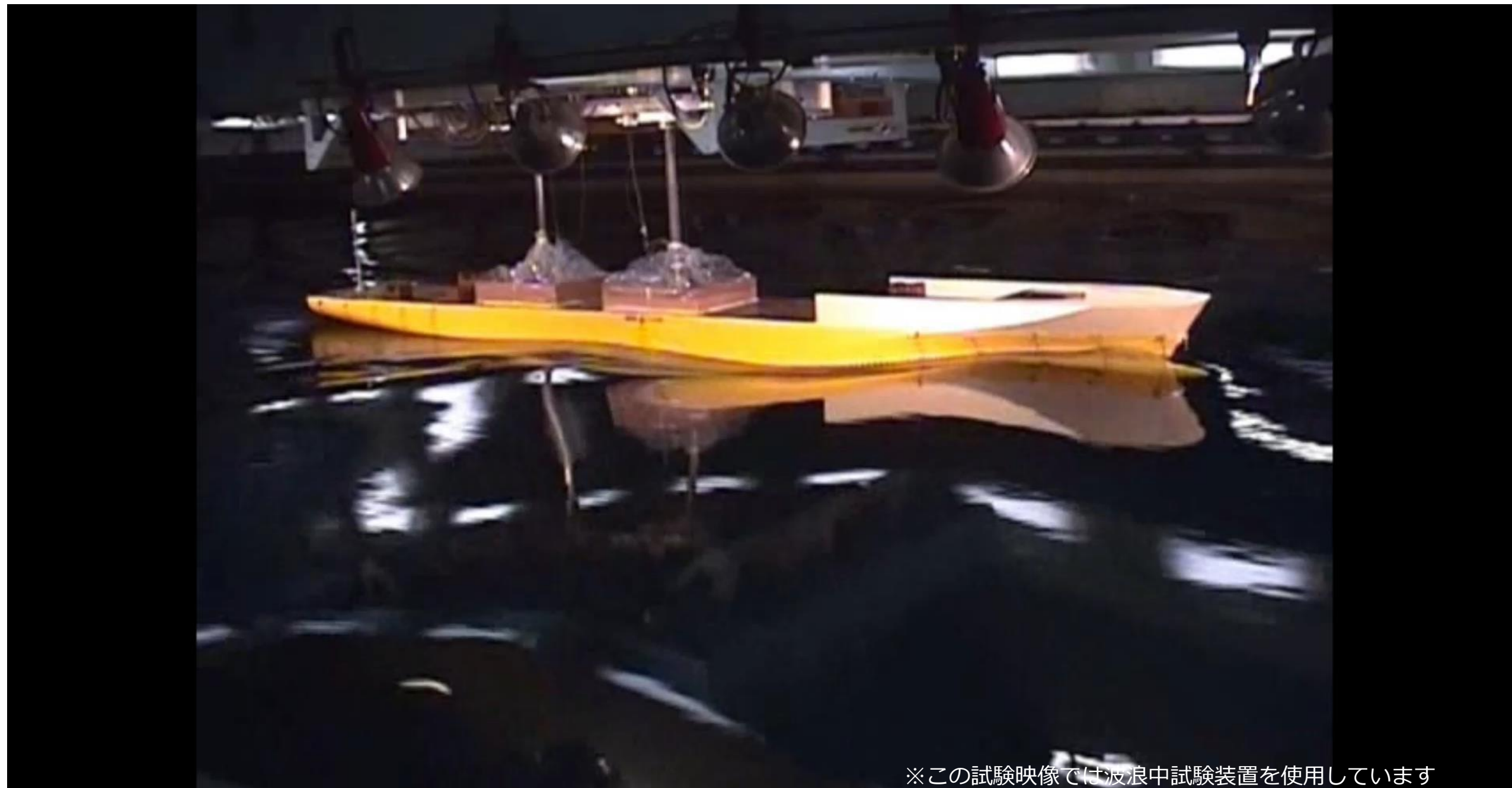


- 波浪中抵抗増加を精度よく推定するためには、**前進速度係数 C_U** を用いることが有効であり、これを**短波長規則波中抵抗試験**により求めた。

3. 試験の様子（動画）

■ 短波長規則波中抵抗試験

- ✓ 短波長時には船体運動が小さいため、平水中抵抗試験と同じ試験装置で実施可能。
- ✓ 自動計測システムにより、**同一地点で同一波形における計測が可能。**



※この試験映像では波浪中試験装置を使用しています

4. EEDIweather認証試験および最終認証に関する鑑定書

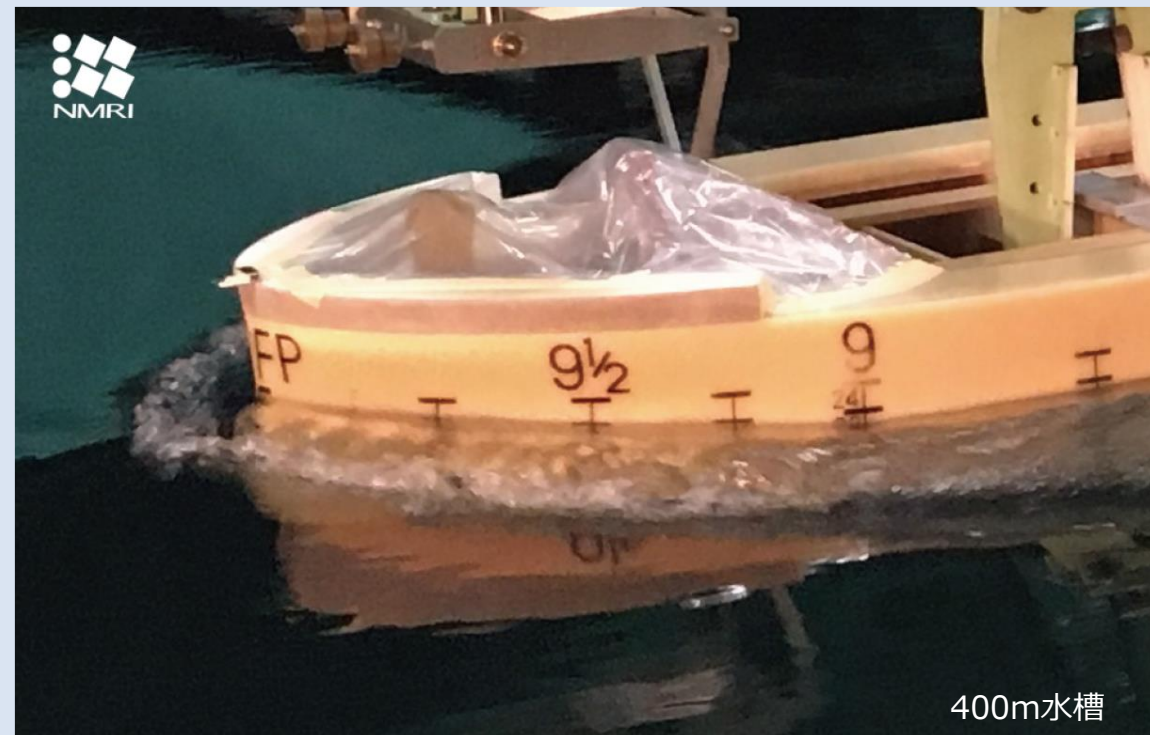
■ EEDIweather認証試験



中水槽



同船の試運転の様子



400m水槽




同船の試運転の様子

■ 最終認証に関する鑑定書

※一部加工しています

Form 130



NIPPON KAIJI KYOKAI

No. -EEDI Date: 31 March 2017

STATEMENT OF FACT
Energy Efficiency Design Index "EEDI"

Ship Particulars

Shipyard :
Hull number :
Type of ship :
Deadweight :

Summary results of EEDI

Reference speed	knots
Attained EEDI	g/t.nm
Reference line value	g/t.nm
Calculated weather factor, f_w	
Attained EEDI _{weather}	g/t.nm

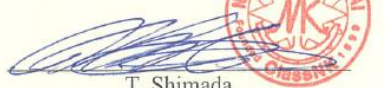
Supporting Documents

Title	ID and/or Examination No.
EEDI TECHNICAL FILE <WEATHER>	

THIS IS TO CERTIFY:

- that the attained EEDI of the ship has been calculated in accordance with the 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships, IMO Resolution MEPC.245(66),
- that EEDI_{weather} of the ship has been calculated in accordance with the MEPC.1 Circular 796 "Interim Guidelines for the calculation of the coefficient f_w for decrease in ship speed in a representative sea condition for trial use", and
- that the attained EEDI of the ship has been verified in accordance with the 2012 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI), IMO Resolution MEPC.254(67).

Issued at Tokyo on 31 March 2017



T. Shimada
General Manager
EEDI Department
NIPPON KAIJI KYOKAI

This Report is issued subject to the condition that it is understood and agreed that neither the Society nor any of its Committees is under any circumstances whatever to be held responsible for any inaccuracy in any report or certificate issued by this Society or its Surveyors or in any entry in the Record or other publication of the Society or for any error of judgment, default or negligence of its Officers, Surveyors or Agents.

97. 11. 10000 (K)

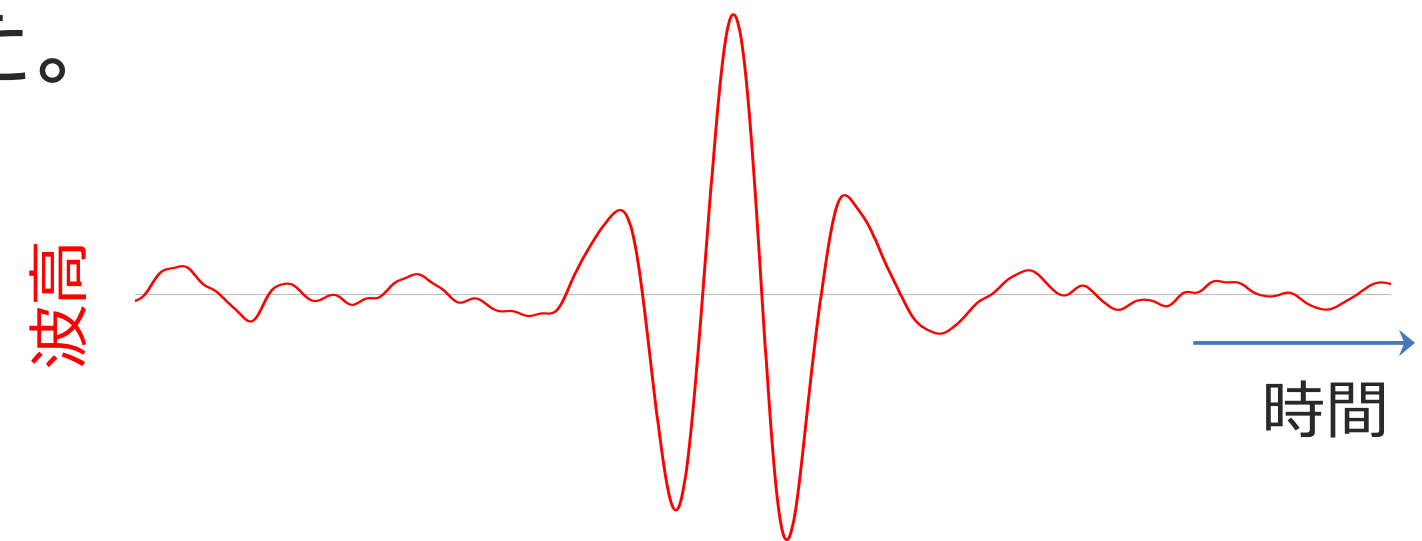
船体弹性振動計測試驗

1. 試験の目的

- 荒天海象中では衝撃荷重を受けることがあり、構造の安全性の観点から、**船体の弾性振動**が懸念される。
- 特に**縦曲げモーメント**は重大な事故を引き起こす可能性が高い外力として、その定量的評価が重要視されている。

1. 試験の目的

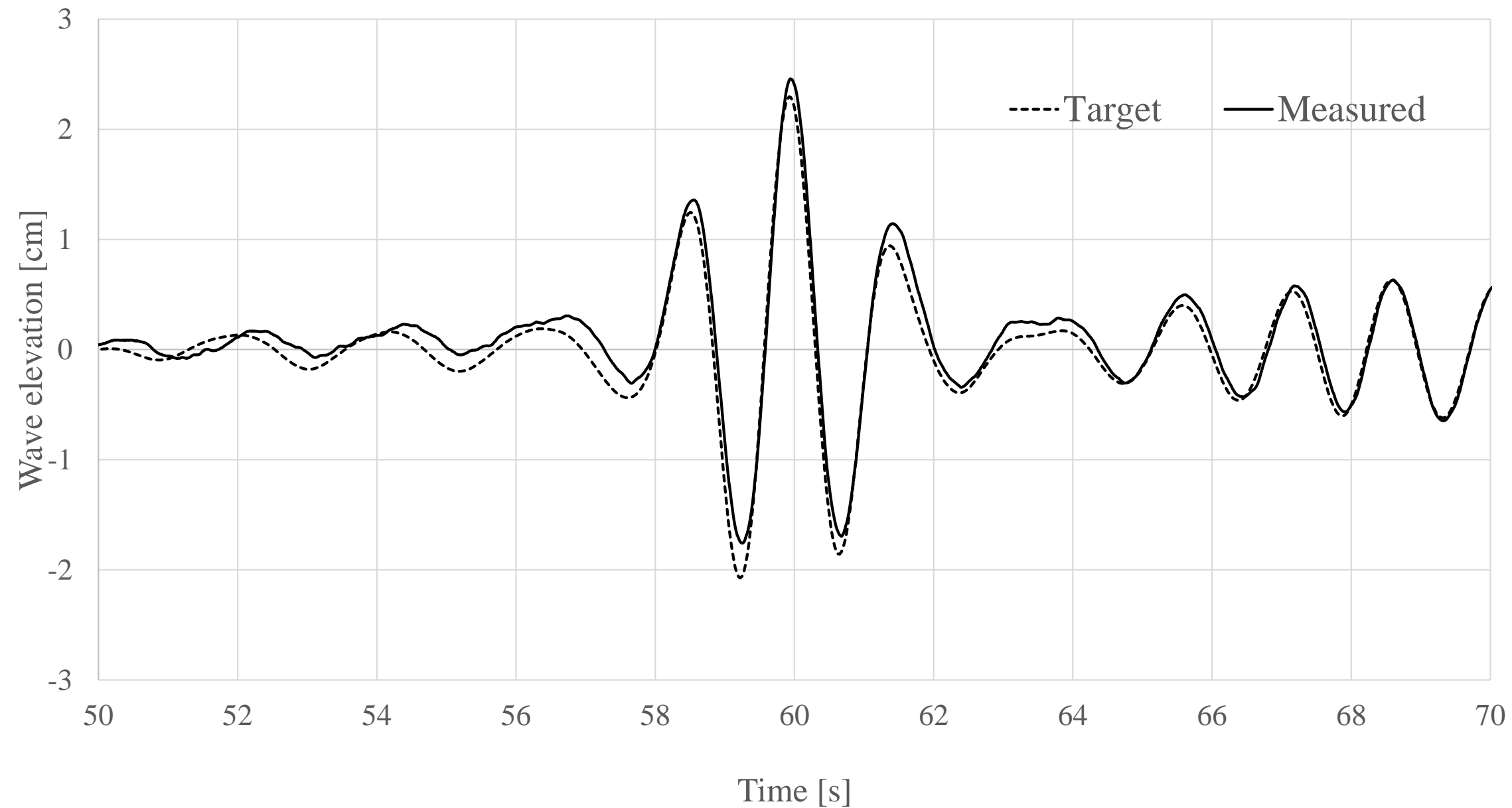
- 船の遭遇海象における極大応答を評価する一手法として、**設計不規則波**を用いた手法が有効である。
- 設計不規則波は「**一発大波**」の特徴を有しており、短期海象中における発生確率と関係し、短時間で極大応答の評価に用いられる。
- 弾性振動の数値計算による推定法の検証のため、中水槽で設計不規則波を発生させ、**船体弾性振動**を計測した。



設計不規則波の例

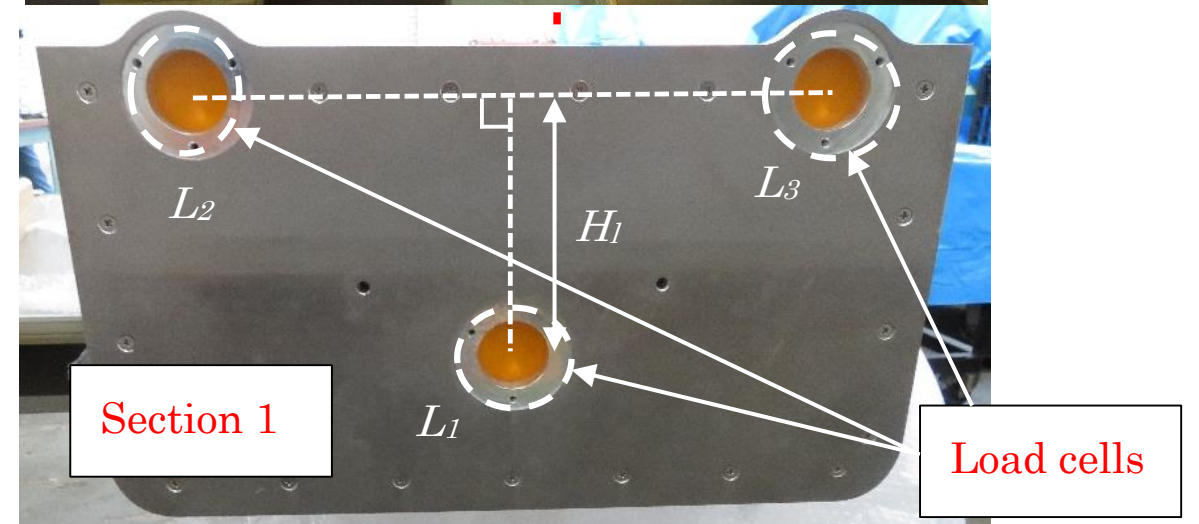
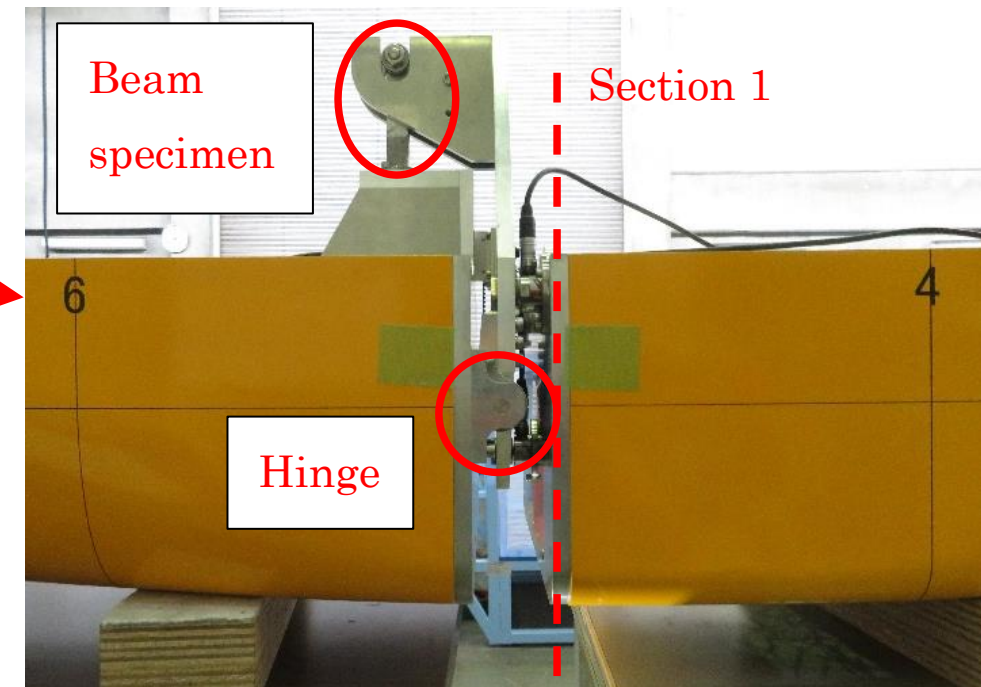
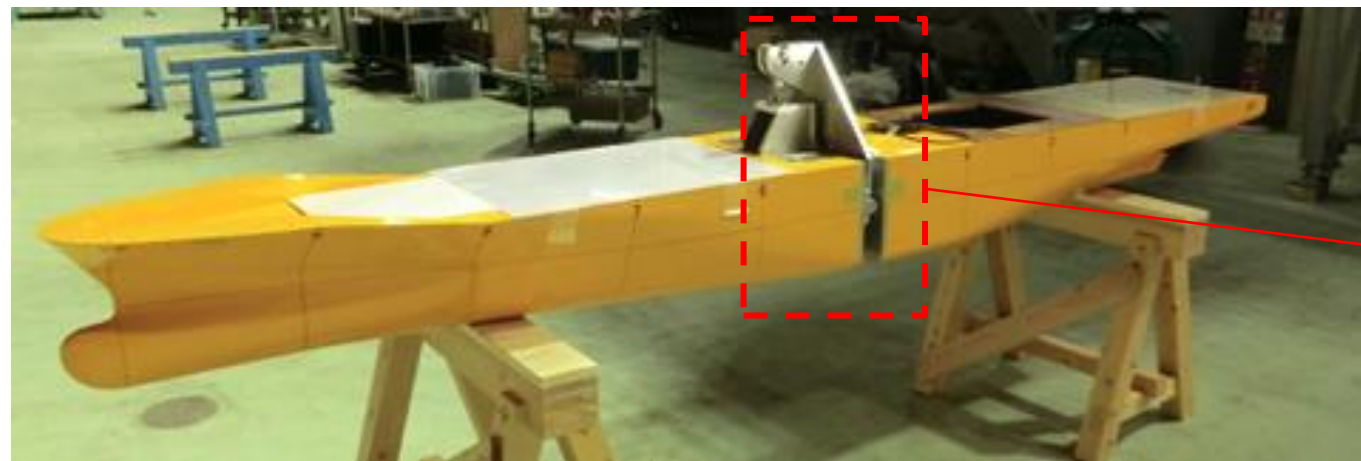
2. 中水槽で生成した設計不規則波

- 中水槽で生成した設計不規則波は、目標波形とよく一致していることを波検定により確認した。



3. 模型船と試験条件

- 6600TEUコンテナ船の 1/100模型 (船長 約2.8m)
- 前後に2分割されており、船体中央の接続部に縦曲げ剛性を再現するための梁を設置
- 船速0.4m/s (実船8kt相当) で曳航

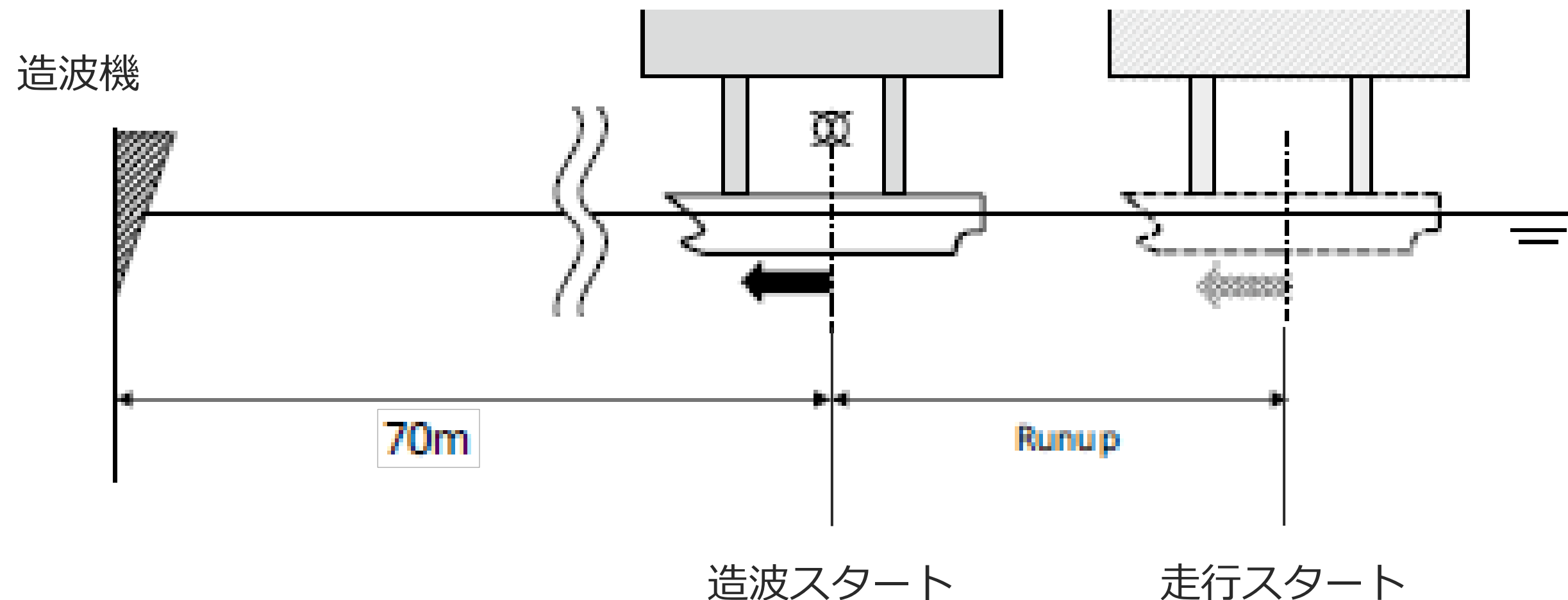


6600TEU container	Full scale	Model scale
Ship length (L_{pp})	283.8 m	2.838 m
Breadth (B)	42.8 m	0.428 m
Depth (D)	24.0 m	0.240 m
Draft (full loading)	14.0 m	0.160 m
Displacement	109 480 ton	122.16 kg
Scale ratio	100.0	

3. 模型船と試験条件

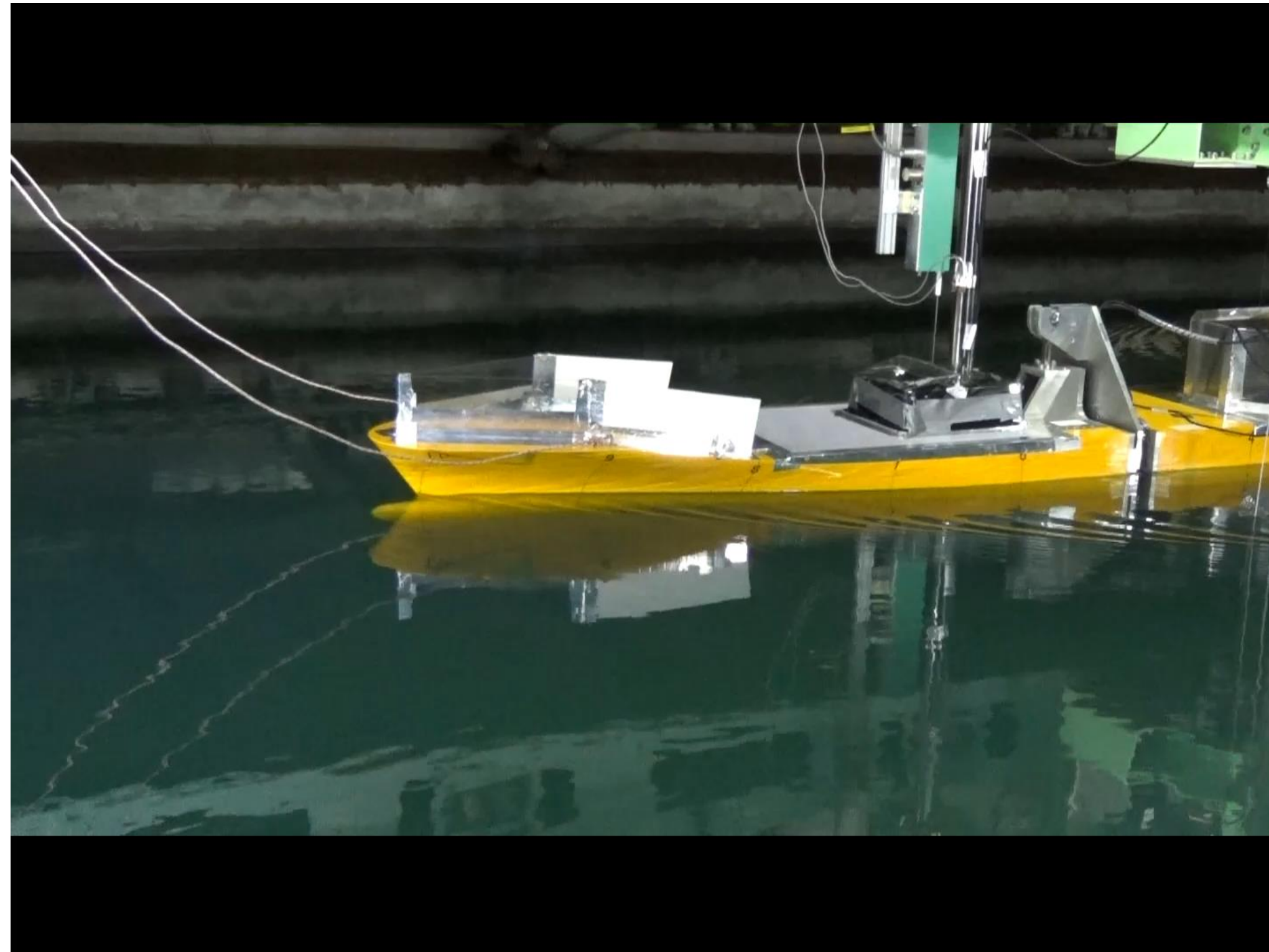
- 設計不規則波を常に同じタイミングで船体に当てるため、曳引車が「造波機から70m地点」に到達した時点で造波をスタートさせた（※）

※現在は自動計測システムの導入により試験状態の再現が容易になっている



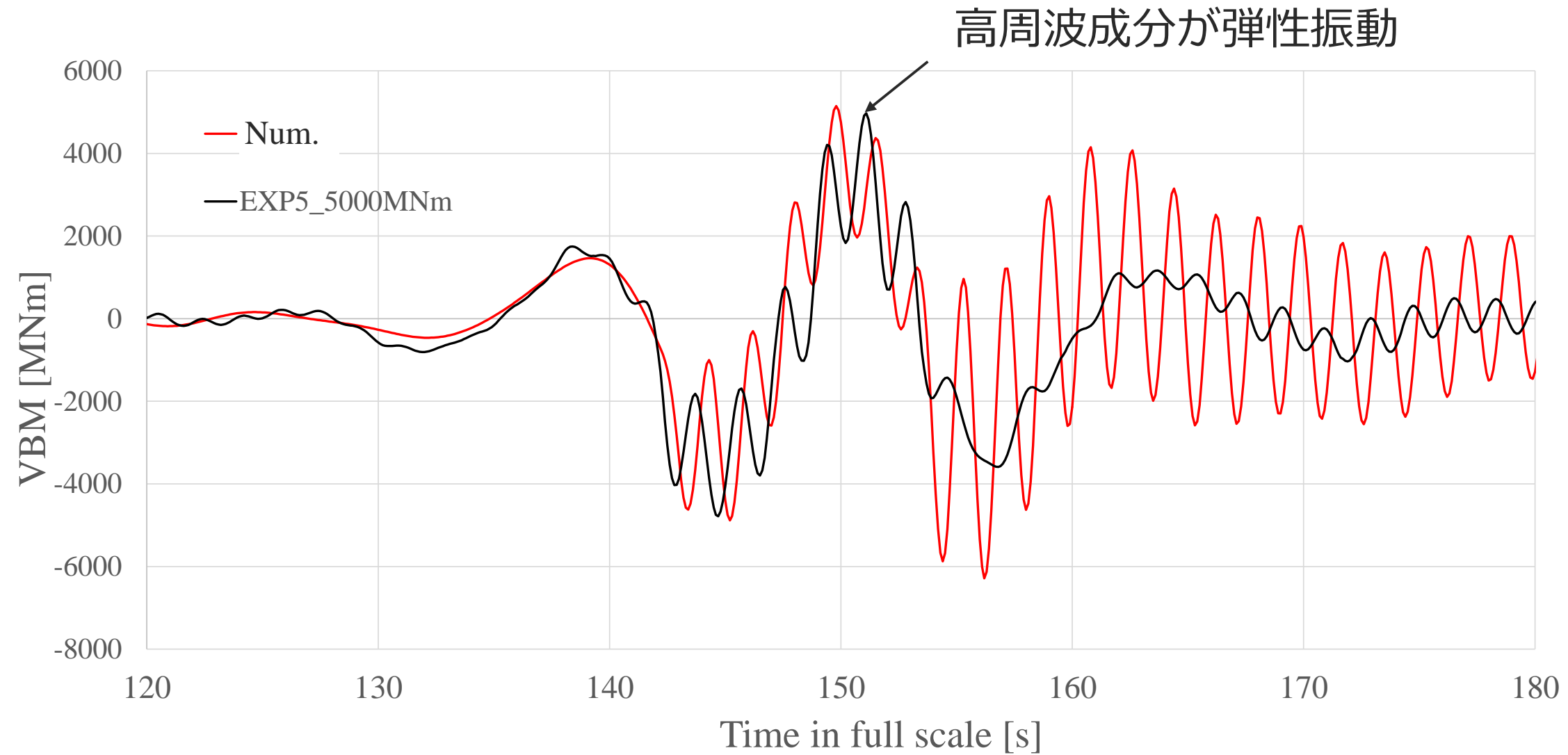
4. 試験の様子（動画）

- 設計不規則波中の実験風景（0:19付近で設計不規則波のピークと遭遇）



5. 計測結果

■ 実験計測結果は数値計算法の検証に使用



Takami, T., Komoriyama, Y., Ando, T., Ozeki, S., and Iijima, K. (2019): Efficient FORM Based Extreme Value Prediction of Nonlinear Ship Loads with an Application of Reduced Order Model for Coupled CFD and FEA, Journal of Marine Science and Technology 25(2), 327-345.

ライザー管の渦励振 (VIV) 計測試験

1. 試験の目的

- 流れの中に置かれた**ライザー管**のような細長い物体周りには剥離渦が発生し、渦の剥離周波数が物体の固有振動数（及びその倍数）と一致した場合に**渦励振**（VIV : Vortex Induced Vibration）が発生する。
- VIVの正確な予測のために必要な流体力係数を得るために、**実機レイノルズ数**（ 10^6 オーダー）での**模型試験**を実施した。



中水槽でのVIV計測試験の様子

2. 流体力係数の算出手順

- 円柱が空気中にある場合に摩擦トルクを求める



- 円柱が**静水中**にある場合の付加質量係数、抗力係数を求める
 - ✓ 摩擦トルクの外、**自由振動の周期と振幅**が必要

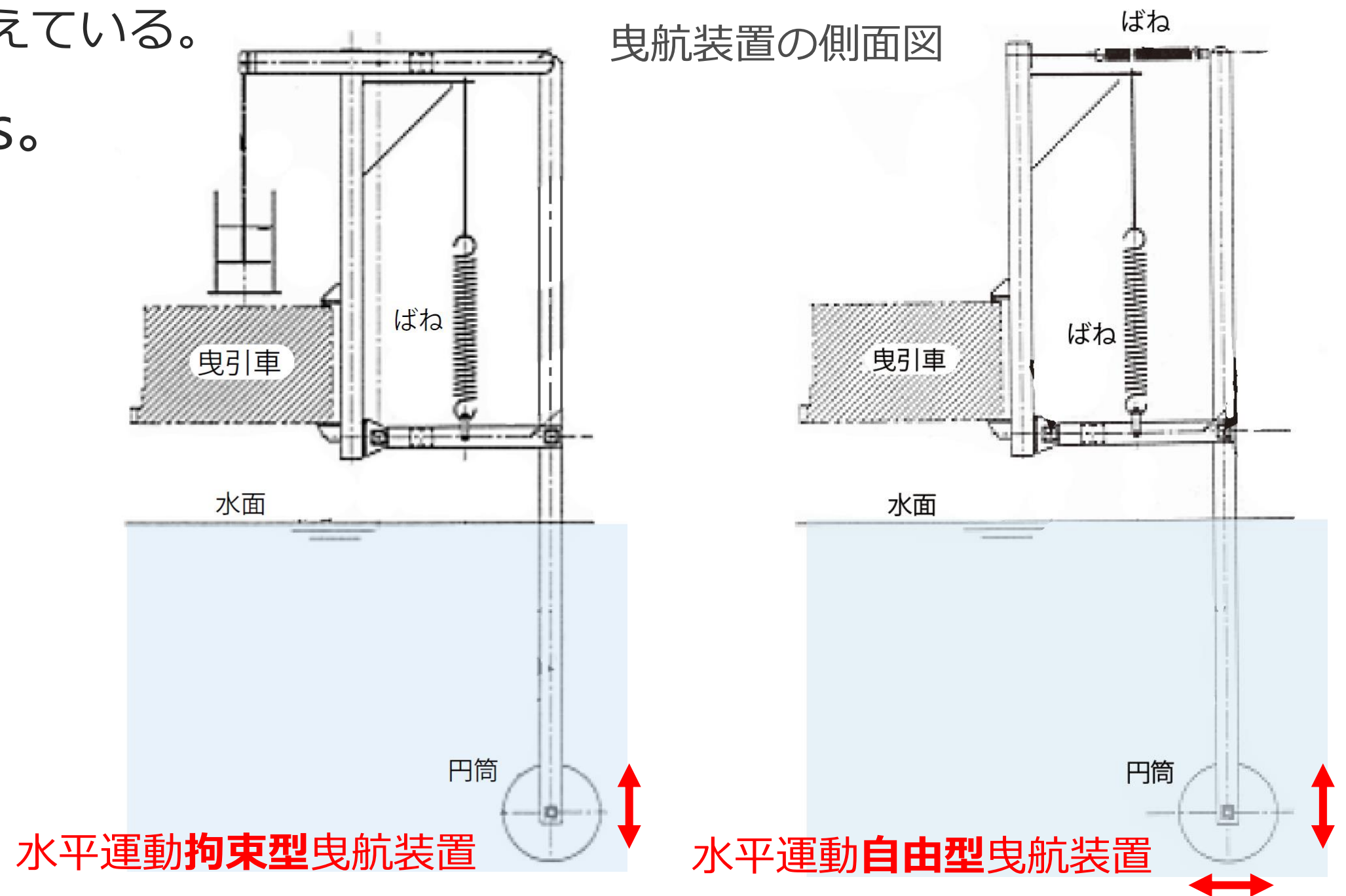


- 円柱が**一様流中**にある場合の揚力係数を求める
 - ✓ 付加質量係数、抗力係数の外、**渦剥離による自由振動の周期と振幅**が必要

中水槽で実施

3. ライザー管模型と曳航装置

- 長さ5.4m、直径0.27mの円筒。端板付。両端に検力計内蔵。
- 流体力および運動計測には**水平運動拘束型**、**水平運動自由型**の2種の曳航装置を使用。
 - ✓ 運動にはばねによる復原力を与えている。
- 曳航速度は0.213～0.763m/s。



4. 試験の様子（動画）

- 一様流を再現するために中水槽で円筒模型を曳航



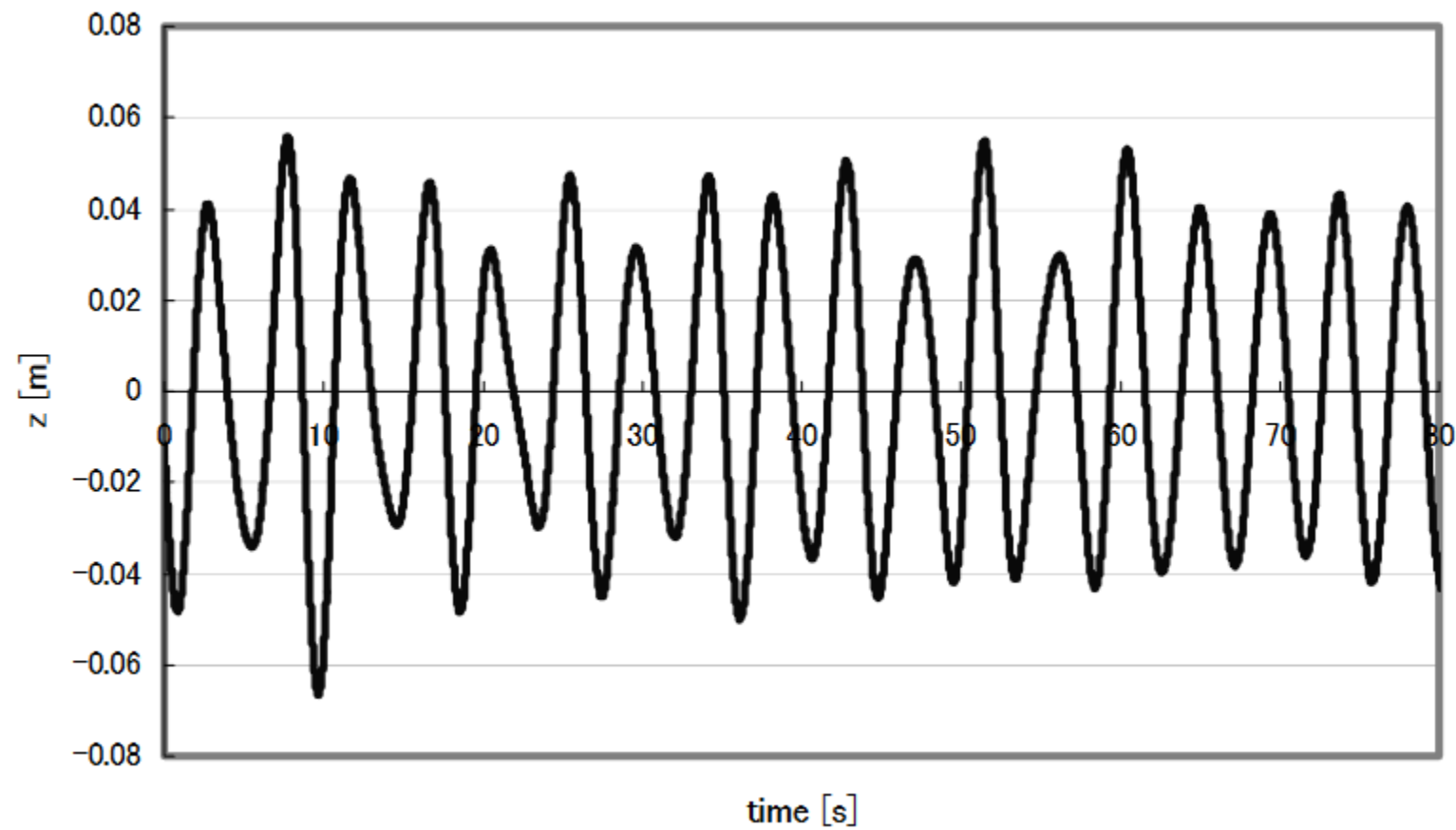
全体イメージ



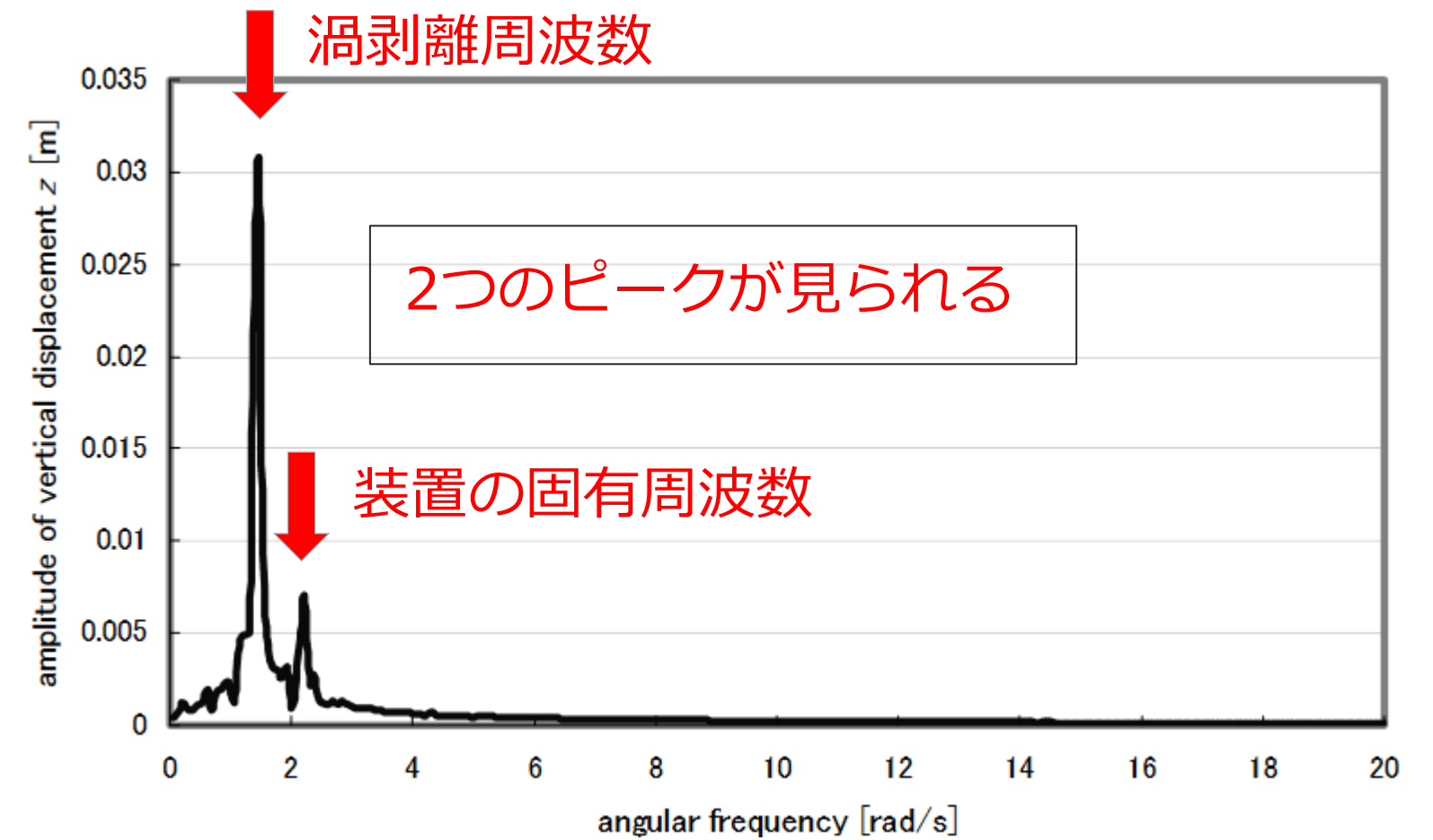
円筒模型ズーム

5. 計測結果

- 鉛直運動の周期には顕著なピークが表れた



鉛直運動
(水平運動拘束型)



鉛直運動フーリエ変換結果
(水平運動拘束型)