

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ XÂY DỰNG VIỆT NAM - BẢN QUYỀN THUỘC BỘ XÂY DỰNG
Vietnam Journal of Construction – Copyright Vietnam Ministry of Construction 59th Year

5-2020



NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Cao Văn Vui, Đoàn Văn Đệ, Lê Đình Quốc	6	So sánh sức kháng cháy của cột BTCT theo tiêu chuẩn Việt Nam, ACI và Euro
Võ Thanh Lương, Đào Văn Cường, Nguyễn Hồng Sơn	11	Tính toán tiết diện cột bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên theo mô hình biến dạng
Võ Thanh Lương, Đào Văn Cường, Nguyễn Hồng Sơn	15	Tính toán tiết diện dầm bê tông cốt thép chịu uốn xiên theo mô hình biến dạng
Đình Quang Cường	18	Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán động lực học tương tác giữa sóng biển và công trình trọng lực bê tông
Đỗ Minh Tuấn, Phạm Văn Tùng	22	Về một phương pháp tính độ vĩ trắc địa
Hà Duy Khánh	25	Các yếu tố gây ra chậm trễ giải phóng mặt bằng các dự án xây dựng sử dụng vốn ODA
Hồ Anh Khoa, Nguyễn Thanh Việt	30	Phân tích các yếu tố thành công quan trọng tác động đến các dự án công trình khí ở Việt Nam
Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc	39	Hiệu quả của đất bão hòa trong nền cát hóa lỏng cho khu vực ven biển của thành phố Quy Nhơn tỉnh Bình Định
Khổng Trọng Toàn, Đoàn Đắc Trường	46	Tính toán khả năng chịu lực của sàn bê tông cốt thép khi tiếp xúc với lửa theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ
Lê Công Duy	51	Sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân tối ưu tham số mờ đánh giá độ tin cậy của kết cấu dàn phẳng
Lê Hồng Dương	56	So sánh và lựa chọn phương án sàn không dầm cho kết cấu công trình
Lưu Xuân Lộc, Phan Quang Hưng, Takahashi Hiroshi	63	Nghiên cứu tái chế bùn có hàm lượng nước cao bằng rơm thành đất gia cố bờ sông
Nguyễn Thị Thảo Nguyên, Mai Phước Ánh Tuyết, Nguyễn Văn Kỳ Long	68	Rào cản về khả năng tham gia của các bên liên quan trong việc ứng dụng BIM trong các công trình bên vững tại Việt Nam
Đoàn Ngọc Tịnh Nghiêm, Ngô Hữu Cường	74	Phân tích phi tuyến khung thép phẳng nửa cứng chịu tải trọng tĩnh bằng phương pháp khớp thứ
Nguyễn Cảnh Cường, Nguyễn Huy Thanh, Bùi Trọng Cầu	81	Phương pháp lập chiến lược tổ chức xây dựng kết cấu hạ tầng tối ưu cho các dự án khu đô thị mới
Nguyễn Đình Huấn, Chu Thị Quỳnh	85	Đánh giá hiện trạng môi trường không khí & đề xuất biện pháp phù hợp cho KCN Liên Chiểu, Đà Nẵng
Nguyễn Duy Liêm, Nguyễn Đức Hòa	89	Ảnh hưởng của mác bê tông và chiều dày vỏ thép đến sức kháng mô men của dầm liên hợp lõi bê tông cốt thép – vỏ thép
Nguyễn Hoài Nghĩa, Nguyễn Thị Diễm Uyên.	94	Các nguyên nhân của tình trạng bỏ hoang căn hộ ở những dự án tái định cư tại tp. Hồ Chí Minh
Nguyễn Hữu Long, Nguyễn Thanh Việt	97	Phân tích các nguyên nhân và ảnh hưởng của các đề nghị thay đổi trong giai đoạn thi công đối với các dự án xây dựng dân dụng và công nghiệp
Nguyễn Minh Đức	106	Ảnh hưởng của vùi địa kỹ thuật đến ứng xử tương nở của đất bùn nạo vét lòng sông
Nguyễn Phú Cường, Trịnh Đình Dũng	111	Phân Tích Ảnh Hưởng của Tăng Cường lên Dao Động Nhà Cao Tầng bằng Phần Mềm ETABS
Nguyễn Sơn Lâm, Võ Thị Hoài Thu, Huỳnh Trung Minh	115	Phân tích nội lực hệ kết cấu vòm 3 khớp dùng mathcad
Nguyễn Sỹ Hùng, Lê Văn Trường	119	Chỉnh lý số liệu địa chất cho bài toán hố đào sâu kể đến ảnh hưởng của lộ trình ứng suất
Nguyễn Thành An	125	Tương quan giữa mô đun biến dạng và sức kháng xuyên tiêu chuẩn của đất sét, sét pha khu vực quận Thanh Xuân, thành phố Hà Nội
Nguyễn Thanh Hưng, Văn Công Chiến,	128	Nghiên cứu sự suy giảm khả năng chịu uốn dầm bê tông cốt thép theo cấp độ ăn mòn
Nguyễn Đình Hùng, Đào Duy Kiên		
Nguyễn Minh Đức, Nguyễn Thanh Tú, Ngô Thị Thảo	133	Ứng xử có kết 1 trục của đất sét yếu gia cường vùi địa kỹ thuật và đệm cát
Nguyễn Thị Thu Thủy, Nguyễn Văn Kỳ Long	137	Năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp xây dựng vừa và nhỏ: kết quả thực nghiệm từ nghiên cứu định lượng
Nguyễn Tiến Dũng	141	Tính toán sức kháng ngang cực hạn của cọc đơn thẳng đứng chịu tải trọng ngang – phương pháp Brinch Hansen

Bìa 1: Nhà Hang Gạch (Brick Cave) Huy chương Vàng Kiến trúc Châu Á 2019

Chủ nhiệm:
Bộ trưởng Phạm Hồng Hà

Tổng Biên tập:
Trần Thị Thu Hà

Tòa soạn: 37 Lê Đại Hành, Hà Nội
Liên hệ bài vở: 024 39780820 ; 0983382188
Trình bày mỹ thuật: Thạc Sĩ Cường, Quốc Khánh
Giấy phép xuất bản: Số: 372/GP-BTTTT ngày 05/7/2016
Tài khoản: 113000001172
Ngân hàng Thương mại Cổ phần Công thương Việt Nam Chi nhánh Hai Bà Trưng, Hà Nội
In tại Công ty TNHH MTV in Báo nhân dân TP HCM
Địa chỉ: D20/532P, Ấp 4, Xã Phong Phú, Huyện Bình Chánh, TP HCM

Hội đồng khoa học:
TS. Thứ trưởng Lê Quang Hùng (Chủ tịch)
PGS.TS Vũ Ngọc Anh (Thư ký)
GS.TS Phan Quang Minh
GS.TS Phạm Xuân Anh
GS.TS Ngô Tuấn
GS.TS Nguyễn Quốc Thông
GS.TS Nguyễn Việt Anh
PGS.TS Nguyễn Văn Tuấn
PGS.TS Phạm Duy Hòa
TS Ứng Quốc Hùng
GS.TS Hiroshi Takahashi
GS.TS Chien Ming Wang
TS Ryoichi Fukagawa

Giá 35.000 VND



- Nguyễn Trần Long Phước, Nguyễn Thanh Việt **144** Xác định các yếu tố ảnh hưởng đến trễ tiến độ hoàn thành dự án xây dựng dân dụng thuộc ngân sách tỉnh Bình Dương
- Nguyễn Trung Kiên **152** Một số cách kết hợp phân tử hữu hạn – phần tử rời rạc trong bài toán xây dựng
- Nguyễn Tuấn Trung **156** Thiết lập mô hình số bằng ABAQUS khảo sát khả năng chịu lửa của sàn bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn EN 1992-1-2
- Nguyễn Văn Chính, Trần Quốc Vũ **161** Ảnh hưởng của sợi xơ dừa đến cường độ của bê tông
- Nguyễn Việt Hưng, Điền Thị Hồng Nữ **165** So sánh và đánh giá các mối quan hệ giữa ngưỡng chảy và độ lỏng của bê tông trong thí nghiệm nón cụt Abrams
- Nguyễn Huy Thế **170** Mô hình rời rạc hóa dầm có hai vị trí cân bằng ứng dụng trong thu thập năng lượng
- Hồ Quốc Khánh, Phan Công Trường, Võ Minh Huy, **173** Nghiên cứu thực nghiệm về gia cường uốn cho dầm bê tông cốt thép bằng tấm sợi carbon
- Trần Bá Cảnh, Nguyễn Mai Chí Trung
- Phạm Duy Hiếu **177** Hiểu và thực hiện các nguyên tắc tinh gọn trong xây dựng
- Phạm Ngọc Chung, Nguyễn Như Hiếu **181** Chuyển động dính-trượt của hệ hai bậc tự do đặt trên băng tải có tính đến hiệu ứng ma sát Stribeck
- Phạm Quang Anh, Trần Thượng Bình **187** Bàn về tác dụng của lũ quét đến sự ổn định công trình trường học ở Việt Nam
- Nguyễn Minh Ngọc, Lê Thị Trinh, Phạm Thị Mai Thảo **190** Nghiên cứu hiện trạng phát sinh rác thải nhựa tại các cấp trường học trên địa bàn quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội
- Trịnh Thị Thu, Phạm Thị Mai Thảo **196** Đánh giá hiện trạng phát sinh rác thải nhựa tại một số trường đại học trên địa bàn quận Cầu Giấy và Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội
- Phan Minh Tuấn **202** Nghiên cứu thực nghiệm về khả năng chịu mô men uốn của dầm bê tông cốt hỗn hợp thép và GFRP
- Phùng Thị Hoài Hương **206** Thiết kế dầm gãy góc chữ V bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018
- Trần Đức Trung, Mai Quế Anh, Nguyễn Tuấn Minh, **210** Ảnh hưởng của phụ gia khoáng hoạt tính đến cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông cường độ cao
- Phan Hữu Trung
- Trần Ngọc Long, Nguyễn Trọng Hà, Trần Ngọc Bình **216** Đánh giá ứng suất bê tông theo thời gian của cột BTCT trong điều kiện khí hậu Miền Trung Việt Nam
- Trần Thị Trâm, Bùi Thị Thúy **221** Tính toán dao động của móng máy trên nền đàn nhớt cấp phân số chịu kích động va đập
- Phạm Quang Đạo, Phạm Thanh Tùng **225** Nghiên cứu thực nghiệm bê tông geopolymer sử dụng tro bay, xỉ lò cao và chất hoạt hóa một thành phần
- Nguyễn Hùng Phong, Lê Ngọc Lan, Đỗ Khôi Nguyên, **232** Nghiên cứu ứng xử chịu uốn của bản bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu nhẹ chế tạo từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng
- Nguyễn Tuấn Trung
- Triệu Thị Minh Thu **236** Điều khiển Zortrax Robotic Arm bằng Arduino và SourceRabbit Gcode Sender
- Nguyễn Văn Phụng, Võ Đăng Khoa, Lê Hoài Long **239** Khảo sát việc lựa chọn nhà thầu của các chủ nhà ở riêng lẻ tại thành phố Hồ Chí Minh
- Võ Nguyễn Phú Huân, Nguyễn Minh Tâm **242** Phân tích hệ số cố kết theo phương đứng Cz và theo phương ngang Ch của nền đất yếu tại khu vực huyện Nhà Bè, thành phố Hồ Chí Minh
- Phạm Hữu Hà Giang, Bùi Quang Huy, Hoàng Vĩ Minh **246** Differences in soil shear properties conducted by the laboratory and field tests
- Nghia Do Trong, Tuan Duong Minh, Tuyet Le Thi Bach **250** Các phản ứng phi tuyến của kết cấu bê tông cốt thép chịu động đất bằng phương pháp MPA
- Nguyen Cong Giang, Tran Thuong Binh, **254** The strength of the pile and the reliability of the calculation results
- Nguyen Quang Long, Ta Van Anh
- Thach Som So Hoach **258** Stability analysis of cylindrical panel based on the small deflection theory and shallow shells theory
- C-Duy Le, D-Thoai Phan **262** Applying hybrid crossover differential evolution to analyse 2D frame structural vibration with interval parameters
- Phạm Hữu Hà Giang, Trần Thị Phượng, Hoàng Vĩ Minh **269** Research on in-situ direct shear testing for determining shear strength properties of soils on shallow bank slopes
- Phạm Hữu Hà Giang, Võ Văn Tùng, Bùi Quang Huy **274** Investigation on the shear properties of soil reinforced by vegetation roots
- Huynh Trong Phuoc, Phung The Vinh, Ngo Si Huy **278** The effect of glass fiber addition on engineering properties of hydraulic cement-based mortar
- Ngo Si Huy, Chu Viet Son, Huynh Trong Phuoc **283** Assessment on shear strength of circular columns with single spiral transverse reinforcement

SCIENTIFIC RESEARCH

- Cao Van Vui, Doan Van Det, Le Dinh Quoc **6** A comparative study on fire resistance of reinforced concrete columns based on Vietnam, ACI and Euro standards
- Vo Thanh Luong, Dao Van Cuong, Nguyen Hong Son **11** Calculation of reinforced concrete columns under eccentric compression load with deformed model
- Vo Thanh Luong, Dao Van Cuong, Nguyen Hong Son **15** Calculation of reinforced concrete beam under biaxial bending under deformed model
- Dinh Quang Cuong **18** Application of finite element method to analyze the problem of dynamic interaction between wave and the offshore gravity structures
- Do Minh Tuan, Pham Van Tung **22** Introduction to a simple method of determining geodetic latitude
- Ha Duy Khanh **25** Factors causing delay in site clearance of construction projects using ODA funds
- Ho Anh Khoa, Nguyen Thanh Viet **30** Analysis of critical success factors for the gas projects in Vietnam
- Hua Thanh Than, Nguyen Ngoc Phuc **39** Effect of saturated soil in liquefaction sand foundation of the coastal areas in Quy Nhon city Binh Dinh Province
- Khong Trong Toan, Doan Dac Truong **46** Determining the bearing capacity of reinforced concrete slabs when exposed to the fire according to ACI 216R-89
- Le Cong Duy **51** Using differential evolution algorithm for fuzzy parameters optimization to evaluate the reliability of the flat truss structure
- Le Hong Duong **56** Compare and select type of floor without beam for building structure
- Luu Xuan Loc, Phan Quang Hung, Takahashi Hiroshi **63** Study on recycling of dredging sludge in the river for banking material
- Nguyen Thi Thao Nguyen, Mai Phuoc Anh Tuyet, Nguyen Van Ky Long **68** Barriers on participation possibility of stakeholders in applying building information modeling (BIM) in sustainable buildings in Vietnam
- Doan Ngoc Tinh Nghiem, Ngo Huu Cuong **74** Nonlinear Analysis of Planar Semi-Rigid Steel Frames under Static Loads using Fiber Hinge Method
- Nguyen Canh Cuong, Nguyen Huy Thanh, Bui Trong Cau **81** An establishing method of the optimum construction scheduling strategy for infrastructure systems of New urban areas
- Nguyen Dinh Huan, Chu Thi Quynh **85** Assessing air pollution & proposing appropriate solutions for Lien Chieu industrial zone, Da Nang city
- Nguyen Duy Liem, Nguyen Duc Hoa **89** Influences of concrete strength and thickness of steel cover on moment resistance of composite beam with reinforced concrete core – steel cover
- Nguyen Hoai Nghia, Nguyen Thi Diem Uyen **94** Reasons of apartment abandon in resettlement projects in Hochiminh city
- Nguyen Huu Long, Nguyen Thanh Viet **97** Analysis of causes and effects of change orders in the construction phase for Civil and Industrial construction projects
- Nguyen Minh Duc **106** The influence of nonwoven geotextile on the swelling behavior of reinforced riverbed clay
- Nguyen Phu Cuong, Trinh Dinh Dung **111** Analyze the Impact of Rigid-Story on High-Rise Buildings' Vibration by ETABS Software
- Nguyen Son Lam, Vo Thi Hoai Thu, Huynh Trung Minh **115** Analysis internal force of three-hinged arch using Mathcad
- Nguyen Sy Hung, Le Van Truong **119** Calibration of input geological data for deep excavation problems including the impact of stress path
- Nguyen Thanh An **125** The correlation between deformation modulus and standard penetration resistance of clay, sandy clay in Thanh Xuan district, Ha Noi city
- Nguyen Thanh Hung, Van Cong Chien, Nguyen Dinh Hung, Dao Duy Kien **128** Degradation of bending capacity of reinforced concrete beams according to corrosion level
- Nguyen Minh Duc, Nguyen Thanh Tu, Ngo Thi Thao **133** One dimensional consolidation behavior of soft clay reinforced by geotextile and sand cushion
- Nguyen Thi Thu Thuy, Nguyen Van Ky Long **137** Competitiveness of construction small and medium-sized enterprises: findings from a quantitative study
- Nguyen Tien Dung **141** Calculating ultimate lateral resistance of vertical single pile under lateral loads – brinch Hansen's Method

Chairman:
Minister **Pham Hong Ha**

Editor-in-Chief:
Tran Thi Thu Ha

Office: 37 Le Dai Hanh, Hanoi
Editorial Board: 024 39780820; 0983382188
Design: Thac Cuong, Quoc Khanh
Publication: No: 372/GP-BTTTT date 5th, July/2016
Account: 113000001172
Joint Stock Commercial Bank of Vietnam Industrial and Commercial Branch, Hai Ba Trung, Hanoi
Printed in: Nhandan printing HCMC limited Company

Scientific commission:
Le Quang Hung, Ph.D
(Chairman of Scientific Board)
Assoc. Prof. Vu Ngoc Anh, Ph.D
Prof. Phan Quang Minh, Ph.D
Prof. Pham Xuan Anh, Ph.D
Prof. Ngo Tuan, Ph.D
Prof. Nguyen Quoc Thong, Ph.D
Prof. Nguyen Viet Anh, Ph.D
Assoc. Prof. Nguyen Van Tuan, Ph.D
Assoc. Prof. Pham Duy Hoa, Ph.D
Ung Quoc Hung, Ph.D
Prof. Hiroshi Takahashi, Ph.D
Prof. Chien Ming Wang, Ph.D
Prof. Ryoichi Fukagawa, Ph.D

- Nguyen Tran Long Phuoc, Nguyen Thanh Viet **144** Identifying factors affecting delays in civil works under the budget of Binh Duong province
- Nguyen Trung Kien **152** Applications of finite-discrete element coupling methods in civil engineering
- Nguyen Tuan Trung **156** Modelling and investigation of fire resistance of reinforced concrete slabs using ABAQUS according to EN 1992-1-2
- Nguyen Van Chinh, Tran Quoc Vu **161** Effect of coconut fibers on the strength of concrete
- Nguyen Viet Hung, Dien Thi Hong Nu **165** Comparison and evaluation of the relationships between yield stress and fluidity of concrete in the Abrams cone test
- Nguyen Huy The **170** Discrete model of a bistable beam in application of energy harvesting
- Ho Quoc Khanh, Phan Cong Truong, Vo Minh Huy, **173** Experimental study on bending strengthening for reinforced concrete beams by carbon fiber reinforced polymer
- Tran Ba Canh, Nguyen Mai Chi Trung
- Pham Duy Hieu **177** Understanding and implementing lean principles in construction
- Pham Ngoc Chung, Nguyen Nhu Hieu **181** Stick-slip motion of a two-degree-of-freedom system moving on a conveyor belt with consideration of Stribeck friction effect
- Pham Quang Anh, Tran Thuong Binh **187** Discuss the impact of flash floods on the stability of school buildings in Việt Nam
- Nguyen Minh Ngoc, Le Thi Trinh, Pham Thi Mai Thao **190** Research on plastic waste generation status at school levels in Cau Giay District, Hanoi City
- Trinh Thi Thu, Pham Thi Mai Thao **196** Assessment of plastic waste generation status at a number of universities in Cau Giay and Bac Tu Liem districts, Hanoi City
- Phan Minh Tuan **202** Experimental study on bending moment capacity of reinforced concrete beam using hybrid (steel and GFRP) bars
- Phung Thi Hoai Huong **206** Design of reinforced concrete V shape beam according to TCVN 5574:2018
- Tran Duc Trung , Mai Que Anh , Nguyen Tuan Minh , **210** Effects of Pozzolanic Admixtures on the Bond Strength of High Strength Reinforced Concrete
- Phan Huu Trung
- Tran Ngoc Long, Nguyen Trong Ha, Tran Ngoc Binh **216** Assessing the time dependence of concrete stress in columns under climatic conditions in central Vietnam
- Tran Thi Tram, Bui Thi Thuy **221** Calculating vibration of impact-resistant engine foundation on viscoelastic foundation of fractional order
- Pham Quang Dao, Pham Thanh Tung **225** Experimental study on mechanical properties of fly ash and ground granulated blast furnace slag based geopolymers concrete
- Nguyen Hung Phong, Le Ngoc Lan, Do Khoi Nguyen, **232** Flexural Behavior of Lightweight Concrete Slab using Lightweight Aggregates from Construction and Demolition
- Nguyen Tuan Trung Wastes
- Trieu Thi Minh Thu **236** Control a Zortrax Robotic Arm with Arduino and SourceRabbit Gcode Sender
- Nguyen Van Phung, Vo Dang Khoa, Le Hoai Long **239** A survey on contractor selection criteria of homeowners in Ho Chi Minh city
- Vo Nguyen Phu Huan, Nguyen Minh Tam **242** Analyse vertical and horizontal consolidation coefficient of soft soil in Nha Be district, Ho Chi Minh city
- Pham Huu Ha Giang, Bui Quang Huy, Hoang Vi Minh **246** Differences in soil shear properties conducted by the laboratory and field tests
- Nghia Do Trong, Tuan Duong Minh, Tuyet Le Thi Bach **250** Studying the responsive characteristics of earthquake-resistant reinforced concrete structures using MPA method
- Nguyen Cong Giang, Tran Thuong Binh, **254** The strength of the pile and the reliability of the calculation results
- Nguyen Quang Long, Ta Van Anh
- Thach Som So Hoach **258** Stability analysis of cylindrical panel based on the small deflection theory and shallow shells theory
- C-Duy Le, D-Thoai Phan **262** Applying hybrid crossover differential evolution to analyse 2D frame structural vibration with interval parameters
- Pham Huu Ha Giang, Tran Thi Phuong, Hoang Vi Minh **269** Research on in-situ direct shear testing for determining shear strength properties of soils on shallow bank slopes
- Pham Huu Ha Giang, Vo Van Tung, Bui Quang Huy **274** Investigation on the shear properties of soil reinforced by vegetation roots
- Huynh Trong Phuoc, Phung The Vinh, Ngo Si Huy **278** The effect of glass fiber addition on engineering properties of hydraulic cement-based mortar
- Ngo Si Huy, Chu Viet Son, Huynh Trong Phuoc **283** Assessment on shear strength of circular columns with single spiral transverse reinforcement

Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán động lực học tương tác giữa sóng biển và công trình trọng lực bê tông

Application of finite element method to analyze the problem of dynamic interaction between wave and the offshore gravity structures

Ngày nhận bài: 12/3/2020

Ngày sửa bài: 26/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 05/6/2020

Đình Quang Cường

TÓM TẮT:

Bài báo này đề cập vấn đề: thiết lập một phương trình động lực học chung cho hai môi trường bao gồm kết cấu (vật rắn biến dạng) và sóng biển (môi trường chất lỏng) theo phương pháp phần tử hữu hạn - (PTHH) - nhờ việc xây dựng bài toán tổng quát, xem kết cấu và môi trường sóng biển như một hệ thống cho phép xác định đồng thời các trị số biểu diễn trạng thái của môi trường sóng biển và kết cấu, có thể giải được bằng các chương trình tính kết cấu, không thông qua các bước tính trung gian.

ABSTRACT:

This paper presents methods of establishing general dynamic equations for two components including structures (deformed solid objects) and waves with finite element method. Consider structure and waves as a system that allows simultaneous determination of values representing the state of waves and structures, which can be solved by structural calculation programs, without going through intermediate steps.

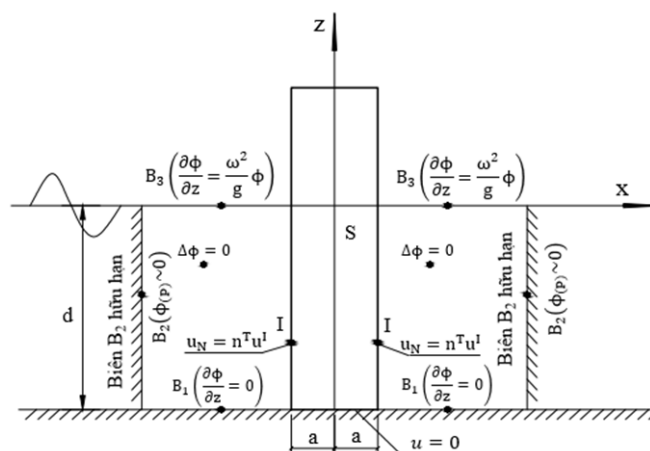
Đình Quang Cường

Viện Xây dựng Công trình biển, Đại học Xây dựng
cuongdq.vctb@gmail.com

Mở đầu: Công trình biển kích thước lớn (điển hình là công trình biến trọng lực bê tông - CTBTLBT) chịu tác động của sóng biển gây ra hiện tượng nhiễu xạ. Đã có nhiều nghiên cứu hiện tượng nhiễu xạ dựa trên hiệu ứng tương tác giữa sóng biển và công trình với giả thiết công trình cứng tuyệt đối [5,6,9]. Khi biết tải trọng, có thể xác định nội lực, ứng suất - biến dạng làm cơ sở để thiết kế kết cấu dựa theo các điều kiện bền, chuyển vị của công trình. Việc làm trên thường phải thực hiện nhiều phép tính trung gian, nhất là đối với công trình biển kích thước lớn có hình dạng bất kỳ, chịu tải trọng động.

Bài báo này đề cập vấn đề: thiết lập một phương trình động lực học chung cho hai môi trường bao gồm kết cấu (vật rắn biến dạng) và sóng biển (môi trường chất lỏng) theo phương pháp phần tử hữu hạn - (PTHH) - nhờ việc xây dựng bài toán tổng quát, xem kết cấu và môi trường sóng biển như một hệ thống cho phép xác định đồng thời các trị số biểu diễn trạng thái của môi trường sóng biển và kết cấu, có thể giải được bằng các chương trình tính kết cấu, không thông qua các bước tính trung gian.

1. Các quan hệ động lực học - (ĐLH) - của vật rắn biến dạng



Hình 1: Các điều kiện biên bài toán tương tác giữa sóng biển và công trình

Xét bài toán cho ở hình 1: Giả sử miền chất lỏng được bao bọc giữa các biên: B₁ (tại đáy biển); B₂ (chủ vi khá xa kết cấu - được gọi là biên hữu hạn); B₃ (mặt thoáng); biên I là biên tiếp xúc giữa kết cấu và môi trường nước biển, kết cấu được xem là vật rắn biến dạng nằm trong vùng S.

Theo phương pháp PTHH, kết cấu (trong môi trường S) được chia bằng các phần tử vật rắn biến dạng. Các quan hệ động lực học của vật

rắn biến dạng được thể hiện theo phương pháp phần tử hữu hạn khá quen thuộc như sau [2,3,8,10]:

$$M_{ss}\ddot{U} + C_{ss}\dot{U} + K_{ss}U = R_s \quad (1)$$

trong đó: M_{ss} : Ma trận khối lượng nút của vật rắn biến dạng trong hệ tọa độ tổng thể; C_{ss} : Ma trận cản của vật rắn biến dạng trong hệ tọa độ tổng thể; K_{ss} : Ma trận độ cứng của vật rắn biến dạng trong hệ tọa độ tổng thể; R_s : Véc tơ tải trọng nút; U, \dot{U}, \ddot{U} : các véc tơ chuyển vị vận tốc, gia tốc tại nút của vật rắn biến dạng.

$$M_{ss} = \sum_m \int_{V(m)} \rho^{(m)} H^{(m)T} H^{(m)} dV^{(m)} = \sum_{m=1}^N M_{ss}^{(m)} \quad (2)$$

$$C_{ss} = \sum_m \int_{V(m)} K^{(m)} H^{(m)T} H^{(m)} dV^{(m)} = \sum_{m=1}^N C_{ss}^{(m)} \quad (3)$$

$$K_{ss} = \sum_m \int_{V(m)} B^{(m)T} D_{ss}^{(m)} B^{(m)} dV^{(m)} = \sum_{m=1}^N K_{ss}^{(m)} \quad (4)$$

với: H : Hàm hình dáng của các phần tử hữu hạn; B : Ma trận quan hệ chuyển vị - biến dạng: $B = f(\frac{\partial H}{\partial x}, \frac{\partial H}{\partial y}, \frac{\partial H}{\partial z})$; D_{ss} : Ma trận quan hệ ứng suất - biến dạng của vật rắn biến dạng.

Phương trình (1) đã được giải trong nhiều chương trình phần mềm tính kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn [4,11]. Với một hệ kết cấu nào đó, nếu thiết lập được phương trình dao động dạng (1) thì việc giải quyết coi như đã được chương trình hoá [4,11].

2. Các quan hệ động lực học sóng biển

Môi trường sóng biển cũng được chia thành các phần tử chất lỏng - (các phần tử nước). Các giả thiết được sử dụng: Chất lỏng không nhớt, không xoáy, không nén được và chuyển vị nhỏ, sự cân bằng lực tuyến tính của chất lỏng được biểu diễn bởi phương trình dòng chảy Navier-Stokes. Khi sử dụng hàm thế vận tốc $\Phi(x,y,z,t)$ sao cho:

$$u_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial x}; u_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial y}; u_z = -\frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (5)$$

Điều kiện cân bằng động của chất lỏng được biểu diễn dưới dạng phương trình công khả dĩ như sau:

$$\int_V \underbrace{\nabla \Phi \nabla \Phi}_{(1)} dv + \int_V \underbrace{\frac{\rho}{e^2} \Phi \cdot \check{d}}_{(2)} - \int_{sv} \underbrace{\frac{\rho}{e^2} \Phi \check{V}_n^s ds}_v = 0 \quad (6)$$

Phân tích từng số hạng trong phương trình (6) ta có:

$$(1) \int_V \nabla \Phi \nabla \Phi dv = \int_V \rho_F B^T B \Phi dv = \sum_{m=1}^N K_{FF}^{(m)} \Phi = K_{FF} \Phi \quad (7)$$

$$\text{với } K_{FF}^{(m)} = \int_{V_m} \rho B_m^T B_m dv_m \quad (8)$$

$$(2) \int_V \frac{\rho}{e^2} \Phi \check{d} dv = \int_V \frac{\rho}{e^2} H^T H^s \check{d} dv = \sum_{m=1}^N M_{FF}^{(m)} \check{\Phi} = M_{FF} \check{\Phi} \quad (9)$$

$$\text{với: } M_{FF}^{(m)} = \int_{V_m} \frac{\rho}{e^2} H_m^T H_m dv_m \quad (10)$$

$$(3) \int_{sv} \frac{\rho}{e^2} \Phi \check{V}_n^s ds_v = \int_{sv} \frac{\rho}{e^2} H_m^T V_n^s ds_v = P = \sum_{m=1}^N P_m \quad (11)$$

$$\text{với: } P_m = \int_{sv} \frac{\rho}{e^2} H_m^T V_n^s ds_v^{(m)} \quad (12)$$

Chú ý tới (8), (10), (12) có thể viết lại (6) dưới dạng ma trận theo phương pháp phần tử hữu hạn như sau [3]:

$$M_{FF} \check{\Phi} + K_{FF} \Phi = P \quad (13)$$

trong đó:

M_{FF} : Ma trận khối lượng của chất lỏng; Φ : Thế vận tốc sóng tới;

K_{FF} : Ma trận độ cứng của chất lỏng; P : Áp lực trong chất lỏng
Với: P_m là các thành phần áp lực của chất lỏng trên biên l;

$$e = \sqrt{\frac{\beta}{\rho F}} \text{ là tốc độ truyền sóng; } v_{n/l} = e^2 \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial n} = v_n^s: \text{ vận tốc chất}$$

lỏng theo phương vuông góc với véc tơ n (hướng ra ngoài miền chất lỏng) bằng vận tốc của kết cấu trên biên l.

Phương trình (13) có dạng tương tự (1) nhưng do chất lỏng không nhớt nên thành phần cản $C = 0$.

Giải phương trình (13) phải thỏa mãn các điều kiện biên sau đây:

$$\text{Biên } B_1 \text{ (dưới đáy biển): } \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0; \text{ Biên } B_3 \text{ (trên mặt thoáng):}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\omega^2}{g} \Phi;$$

Biên B_2 phải thỏa mãn điều kiện Sommerfeld (ở xa vô cùng): $\Phi_P = 0$;

Biên l: Nếu biên tiếp xúc (l) tuyệt đối cứng: $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$. Nếu biên tiếp xúc

(l) có biến dạng, sử dụng điều kiện cân bằng chuyển vị trên biên tiếp xúc (chuyển vị của chất lỏng bằng chuyển vị của vật rắn biến dạng trên biên tiếp xúc): $u_n = n^T u^l$. Để có một phương trình động lực học chung cho hai môi trường (vật rắn biến dạng và chất lỏng) cần thiết phải giải quyết điều kiện biên tiếp xúc (biên l). Vấn đề sẽ được giải quyết ở mục tiếp theo.

3. Các quan hệ động lực học tương tác giữa sóng biển và kết cấu

3.1. Phương trình công khả dĩ của kết cấu có kể đến biên tiếp xúc

Đối với vật rắn biến dạng, phương trình biến phân có thể được biểu thị (theo nguyên lý năng lượng) như sau:

$$\Pi = \int_0^t \left[\frac{1}{2} \int_S \epsilon^T D_{ss} \epsilon dS - \frac{1}{2} \int_S \rho \dot{u}^T \dot{u} dS - \int_S u^T f^l dI \right] dt \quad (14)$$

trong đó:

ϵ : Véc tơ biến dạng của vật liệu; ρ : Khối lượng riêng của vật liệu;

u^l : Véc tơ chuyển vị tại mặt tiếp xúc l; f^l : Véc tơ lực tương tác xuất hiện trên bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu và môi trường sóng biển (bề mặt l).

Từ (14), có thể viết được phương trình công khả dĩ như sau:

$$\int_S \bar{\epsilon}^T D_{ss} \epsilon dS + \int_S \rho \bar{u}^T \dot{u} dS = \int_I \bar{u}^T f^E dI + \int_I \bar{u}^T f^F dI \quad (15)$$

trong đó: f^E : Lực gây nên do sóng biển tác dụng lên kết cấu.

f^F : Ngoại lực tác dụng lên kết cấu.

3.2. Phương trình công khả dĩ của chất lỏng có kể đến biên tiếp xúc

Đối với chất lỏng lý tưởng (không nhớt, không xoáy, không nén được) và có chuyển vị nhỏ, phép tính biến phân cho ta phương trình:

$$\Pi = \int \left[\frac{1}{2} \int \frac{1}{\beta} (P_0 - \rho_F \Phi)^2 dF - \frac{1}{2} \int \rho_F \nabla \Phi \nabla \Phi dF - \int (P_0 - \rho_F \Phi^l) u_n dI \right] dt \quad (16)$$

trong đó: ρ_F : Khối lượng riêng của chất lỏng; Φ : Thế vận tốc sóng tới;

β : Mô đun đàn hồi thể tích của chất lỏng; P_0 : Áp lực thủy tĩnh;

u_n : Chuyển vị của chất lỏng tại biên tiếp xúc với kết cấu theo phương pháp tuyến với mặt biên l và lấy dương khi véc tơ pháp tuyến hướng vào chất lỏng.

Ta thấy rằng (16) bao gồm ba thành phần:

Thành phần I: Năng lượng nén trong khối chất lỏng;

Thành phần II: Năng lượng động học gây nên do các chuyển động của chất lỏng;

Thành phần III: Thế năng của ngoại lực.

Từ (16) có thể xác định được công khả dĩ của chất lỏng có kể đến biên tiếp xúc như sau:

$$\int_F \frac{1}{\beta} \bar{P}_0 P_0 dF - \int_F \frac{\rho_f}{\beta} \bar{P}_0 \phi dF + \int_F \frac{\rho_f}{\beta} \bar{\phi} P_0 dF - \int_F \frac{\rho_f}{\beta} \bar{\phi} \phi dF$$

$$- \int_F \rho_f \nabla \bar{\phi} \nabla \phi dF = \int_F \bar{P}_0 u_N dI + \int_F \rho_f \bar{\phi}^T u_N dI \quad (17)$$

3.3. Phương trình công khả dĩ của bài toán tương tác

Trên biên I tồn tại lực tác dụng của sóng biển lên bề mặt kết cấu:

$$f^F = -n(P_0 - \rho_f \phi^1) \quad (18)$$

$$\text{với } n^T = [n_x, n_y, n_z] \quad (19)$$

n là vectơ chỉ phương theo phương pháp tuyến với bề mặt chất lỏng, hướng về phía chất lỏng. Chú ý tới (18) phương trình (15) trở thành:

$$\underbrace{\int_S \bar{\epsilon}^T D_{SS} \epsilon dS}_{(1)} + \underbrace{\int_S \rho \bar{u}^T \ddot{u} dS}_{(2)} = \underbrace{\int_I \bar{u}^{IT} f^E dI}_{(3)} + \underbrace{\int_I \bar{u}^{IT} n P_0 dI}_{(4)} + \underbrace{\int_I \rho_f \bar{u}^{IT} n \phi^1 dI}_{(5)} \quad (20)$$

Điều kiện liên tục của biên tương tác là chuyển vị trong chất lỏng bằng với chuyển vị trên bề mặt kết cấu, như vậy:

$$u_N - n^T u^1 \quad (21)$$

Viết lại (17) khi chú ý đến (21) như sau:

$$\underbrace{\int \frac{1}{\beta} \bar{P}_0 P_0 dF}_{(1)} - \underbrace{\int \frac{\rho_f}{\beta} \bar{P}_0 \phi dF}_{(2)} + \underbrace{\int \frac{\rho_f}{\beta} \bar{\phi} P_0 dF}_{(3)} - \underbrace{\int \frac{\rho_f}{\beta} \bar{\phi} \phi dF}_{(4)} - \underbrace{\int \rho_f \nabla \bar{\phi} \nabla \phi dF}_{(5)}$$

$$= \underbrace{\int \bar{P}_0 n^T u^1 dI}_{(6)} + \underbrace{\int \rho_f \bar{\phi}^T n^T u^1 dI}_{(7)} \quad (22)$$

Hai phương trình (20) và (22) tạo thành trạng thái làm việc với công khả dĩ của bài toán tương tác giữa sóng biển và kết cấu là vật rắn biến dạng.

3.4. Biểu diễn sự làm việc với công khả dĩ của bài toán tương tác theo phương pháp phần tử hữu hạn

• Phân tích từng số hạng trong phương trình (20) ta có:

$$(1) \int_S \bar{\epsilon}^T D_{SS} \epsilon dS = \sum_{m=1}^N K_{SS}^{(m)} u = K_{SS} U \quad (23)$$

$$(2) \int_S \rho \bar{u}^T \ddot{u} dS = \sum_{m=1}^N M_{SS}^{(m)} \ddot{u} = M_{SS} \ddot{U} \quad (24)$$

$$(3) \int_I \bar{u}^{IT} f^E dI = \sum_{m=1}^N \int_{I(m)} H^{(m)T} f^E dI = \sum_{m=1}^N R_s^{(m)} = R_s \quad (25)$$

$$(4) \int_I \bar{u}^{IT} n P_0 dI = \sum_{m=1}^N K_{PS}^{(m)T} P_0 = K_{PS}^T P_0 \quad (26)$$

$$\text{trong đó: } K_{PS} = - \int_{I(m)} b dI \quad (27)$$

$$\text{với: } b = [h_1 n_x, h_1 n_y, h_1 n_z, h_2 n_x, h_2 n_y, h_2 n_z, \dots, h_M n_x, h_M n_y, h_M n_z] \quad (28)$$

$$(5) \int_I \rho_f \bar{u}^{IT} n \phi^1 dI = \sum_{m=1}^N C_{FS}^{(m)T} \phi = C_{FS}^T \phi \quad (29)$$

$$\text{trong đó: } C_{FS}^m = - \int_{I(m)} \rho_f a^T b dI \quad (30)$$

$$\text{với: } a = [h_1, h_2, h_3, \dots, h_N] \quad (31)$$

N (trong công thức (28) và (31)) là số nút trên diện tích tiếp xúc giữa chất lỏng và kết cấu.

Như vậy, khi chú ý đến (23), (24), (25), (26), và (29) ta có thể viết lại (20) theo dạng ma trận như sau:

$$K_{SS} u + M_{SS} \ddot{u} = R_s - K_{PS}^T P_0 + C_{FS}^T \phi \quad (32)$$

• Phân tích từng số hạng trong phương trình (22) ta có:

$$(1) \int \frac{1}{\beta} \bar{P}_0 P_0 dF = - \sum_{m=1}^N K_{PP}^{(m)} P_0 = -K_{PP} P_0 \quad (33)$$

$$\text{trong đó: } K_{PP}^m = - \int_{F(m)} d f^{(m)} \quad (34)$$

$$(2) \int \frac{\rho_f}{\beta} \bar{P}_0 \phi dF = \sum_{m=1}^N C_{PF}^{(m)} \phi = C_{PF} \phi \quad (35)$$

$$\text{trong đó: } C_{PF}^m = \int_{F(m)} \frac{\rho_f}{\beta} H^{(m)} d f^{(m)} \quad (36)$$

$$(3) \int \frac{\rho_f}{\beta} \bar{\phi} P_0 dF = \sum_{m=1}^N C_{PF}^{(m)T} P_0 = C_{PF}^T P_0 \quad (37)$$

$$(4) \int \frac{\rho_f}{\beta} \bar{\phi} \phi dF = \sum_{m=1}^N M_{FF}^{(m)} \phi = M_{FF} \phi \quad (38)$$

$$(5) \int \rho_f \nabla \bar{\phi} \nabla \phi dF = \sum_{m=1}^N K_{FF}^{(m)} \phi = K_{FF} \phi \quad (39)$$

$$(6) \int \bar{P}_0 n^T dI = \sum_{m=1}^N K_{PS}^{(m)} U = K_{PS} U \quad (40)$$

$$(7) \int \rho_f \bar{\phi}^T n^T U^1 dI = \sum_{m=1}^N C_{FS}^{(m)} \dot{U} = C_{FS} \dot{U} \quad (41)$$

Chú ý đến (33), (35), (37), (38), (39), (40) và (41) có thể viết lại (22) theo dạng ma trận như sau:

$$K_{PP} P_0 + C_{PF} \phi + C_{FS}^T P_0 - M_{FF} \ddot{\phi} - K_{FF} \phi + K_{PS} U + C_{FS} \dot{U} = 0 \quad (42)$$

• Dạng ma trận phương trình cân bằng bài toán tương tác giữa kết cấu và sóng biển theo phương pháp phần tử hữu hạn

Từ (32) và (42) có thể viết gộp lại theo dạng ma trận:

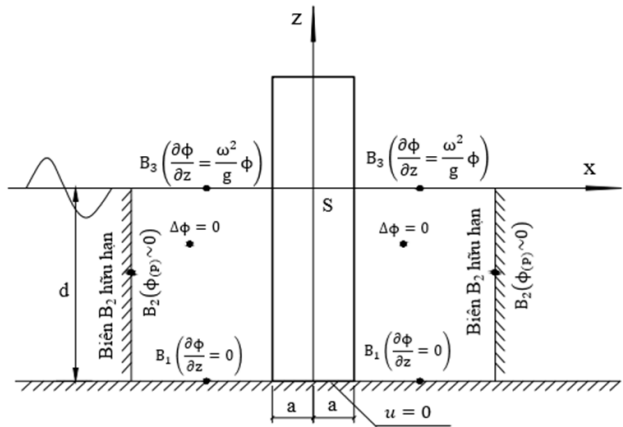
$$\begin{bmatrix} M_{SS} & 0 & 0 \\ 0 & -M_{FF} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{P}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & C_{FS}^T & 0 \\ C_{FS} & 0 & C_{PF}^T \\ 0 & C_{PF} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{\phi} \\ \dot{P}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{SS} & 0 & K_{PS}^T \\ 0 & -K_{FF} & 0 \\ K_{PS} & 0 & K_{PP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ \phi \\ P_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (43)$$

Viết lại (43) chú ý đến (1) ta được phương trình động lực học tương tác giữa công trình trọng lực bê tông với sóng biển dưới dạng ma trận như sau:

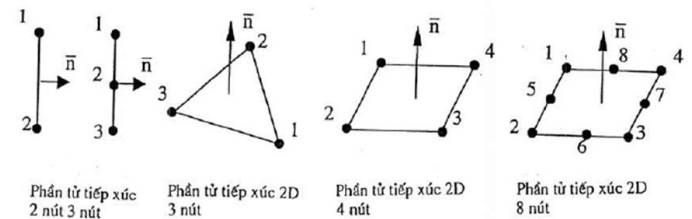
$$\begin{bmatrix} M_{SS} & 0 & 0 \\ 0 & -M_{FF} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{P}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{SS} & C_{FS}^T & 0 \\ C_{FS} & 0 & C_{PF}^T \\ 0 & C_{PF} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{\phi} \\ \dot{P}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{SS} & 0 & K_{PS}^T \\ 0 & -K_{FF} & 0 \\ K_{PS} & 0 & K_{PP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ \phi \\ P_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (44)$$

Hoặc viết dưới dạng rút gọn:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = R_s \quad (45)$$



a) Bài toán tương tác đã loại bỏ điều kiện biên tiếp xúc



Phân tử tiếp xúc 2 nút 3 nút, Phân tử tiếp xúc 2D 3 nút, Phân tử tiếp xúc 2D 4 nút, Phân tử tiếp xúc 2D 8 nút

b) Các phân tử tiếp xúc thay thế điều kiện biên giữa vật rắn biến dạng và chất lỏng Hình 2, Bài toán tương tác công trình và sóng biển như một hệ thống làm việc đồng thời

Phương trình (45) có dạng chính tắc của phương trình động lực học, trong (45) tồn tại ba loại phần tử hữu hạn bao gồm:

Loại 1: Các phần tử của vật rắn biến dạng, mang các đặc trưng cơ lý và hình học của vật rắn biến dạng thông qua các hệ số: M_{SS} , C_{SS} , K_{SS} , với ẩn số U .

Loại 2: Các phần tử chất lỏng, mang các đặc trưng cơ lý và hình học của chất lỏng thông qua các hệ số: M_{FF} , K_{FF} , C_{PF} , K_{PP} với ẩn số Φ , P_0 .

Loại 3: Các phần tử tiếp xúc: Hai thành phần năng lượng xuất hiện do biên tiếp xúc có biến dạng bao gồm: C_{F5} là thể năng chuyển vị của chất lỏng sinh ra do chuyển vị của kết cấu và K_{F5} là thể năng chuyển vị của kết cấu do ngoại lực là áp lực của chất lỏng lên biên kết cấu. Để tiện cho việc sử dụng tối đa các chương trình tính kết cấu có sẵn, các tích phân (27) và (30) được thực hiện theo các diện tích hữu hạn trên biên I - (hình 2b) - và được đặt tên là các phần tử tiếp xúc [1].

4. Kết luận

Phương trình mới được thiết lập (45) là phương trình động lực học của bài toán tương tác giữa sóng biển (chất lỏng) và kết cấu (vật rắn biến dạng), có dạng chính tắc giống như phương trình (1). Việc giải phương trình (45) được thực hiện cùng một thuật toán như đối với phương trình (1) và đã được chương trình hoá [4,11].

Bằng cách sử dụng các mô đun chương trình phụ trợ để thiết lập các ma trận hệ số cho phương trình (45) và chương trình nối ghép liên kết với các chương trình tính kết cấu có sẵn, tác giả đã xây dựng được bộ chương trình để tính toán tương tác giữa kết cấu (vật rắn biến dạng) và sóng biển (chất lỏng), không thông qua các bước tính trung gian.

Bài báo này đã giải quyết điều kiện biên tiếp xúc (coi biên tiếp xúc giữa kết cấu và chất lỏng là biên có biến dạng), từ đó đã xuất hiện các phần tử tiếp xúc trong các phương trình động lực học tương tác giữ vật rắn biến dạng và chất lỏng. Để có thể giải quyết trọn vẹn bài toán động lực học tương tác giữa sóng biển và công trình biển trọng lực bê tông theo phương pháp phần tử hữu hạn, liên quan đến việc giảm khối lượng tính toán trên máy tính, cần thiết phải tiếp tục giải quyết điều kiện Sommerfeld – điều kiện biên B2. Việc xác định biên B₂ sao cho đảm bảo độ chính xác của lời giải và giảm khối lượng tính toán sẽ được giải quyết bằng cách sử dụng các phần tử nước bán vô hạn, vấn đề này sẽ được trình bày ở bài báo tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đinh Quang Cường, 2001. Tính toán độ bền của công trình biển trọng lực bê tông cốt thép, luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
2. Klaus-Jurgen Bathe-Finite Element Procedures in Engineering Analysis-1992.
3. Klaus-Jurgen Bathe - Finite Element Procedures - USA-1996.
4. Bathe . K.J - ADINA R-D - USA -1988
5. P. Renard et C. Soize - Factor - C I I CM - Paris - 1978.
6. C.A. Brebbia and S.Walker - Dynamic Analysis of Offshore Structures Butterworth & Co.Ltd - 1979.
7. C.J.Garrison-Wave Loads on Large Gravity Structure With Superstructure: An Approximate Diffraction Method, Marine Hydrodynamics, Ca 93953 USA, Rep 76-102-1976.
8. O.C.Zienkiewicz Numerical Method in Offshore Engineering - U.K - 79
9. G. Susbielles and C. Bratu - Vagues et Ouvrages Pétroliers en mer - Paris-81.
10. Lorraine G. Olson and Klaus-Jurgen Bathe Analysis of Fluid - Structure Interactions, a Direct Symmetric Coupled Formulation Based on the Fluid Velocity Potential - USA-1985.
11. Edward L. Wilson... SAP-90.