

平成 23 年 4 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21710183

研究課題名（和文）津波による構造物破壊の数値シミュレーション

研究課題名（英文）Numerical simulation of structural damage caused by the tsunami

研究代表者

マッデゲダラ ラリット (Maddegedara Lalith)

東京大学・大学院工学系研究科・特任助教

研究者番号：20426290

研究成果の概要（和文）：

津波荷重を受けるコンクリート壁の破壊解析を行う分散メモリ型並列プログラムを開発した。まず、既往実験で得られたひび割れ形状の再現を通してプログラムの検証を行った。次に、港湾空港技術研究所の大規模波動地盤総合水路で行われた実大スケールのコンクリート壁破壊実験で観測された圧力データを入力に、津波荷重を受けるコンクリート壁の破壊解析を行った。解析によって得られたひび割れ形状は実験値と良く合致した。

研究成果の概要（英文）：

We developed a distributed memory parallel program to simulate the failure of concrete walls under tsunami wave impacts. The program is validated by reproducing some experimentally observed crack patterns reported in literature. The validated program is used to successfully reproduce the observed crack patterns on full scale concrete wall models, tested at the Large Hydro-Geo Flume Facility (LHGF) of the Port and Airport Research Institute, using the experimentally observed pressure data as an input.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：dynamic crack propagation, PDS-FEM, shock wave lithotripsy, tsunami impact, concrete wall failure

1. 研究開始当初の背景

過去数十年に起きたいくつかの M9 級の地震により、津波は沿岸地域に深刻な二次的な被害を引き起こすことがわかった。対策として多数の沿岸構造物が設置されたが、Tsunami

Protection committee による 2005 年の報告によれば、これらの沿岸構造物の 55% が耐震性能が検証されていないとされている。これらの沿岸構造物の経年劣化などの現況の損傷状況を考慮し、数十年にも及ぶ供用期間

中の健全性を評価し、その性能を維持することは津波被害軽減を図る上で重要である。

2. 研究の目的

本研究では、上記を可能とする津波荷重を受ける沿岸構造物の破壊解析が可能なプログラムの開発を行う。沿岸構造物を構成するコンクリートは強い不均一性があるため、破壊時には亀裂の分岐・複雑な折れ曲がりが生じる。津波に対する沿岸構造物の耐波性能を正確に見積もるためには、複雑な破壊時挙動を反映した解析が必要であり、適切な数値解析手法により大規模な数値解析を行う必要がある。しかしながら、このような要件に見合う解析手法がないため、大規模な動的破壊解析が可能な分散メモリ型並列計算プログラムを開発する。なお、計算量の多い、流体・固体連成解析は本研究では行わず、津波をコンクリート壁に衝突させる実大実験によって計測されたコンクリート壁の圧力の時系列観測値を解析の入力値とし、コンクリート壁の破壊解析を行う。

3. 研究の方法

コンクリートは不均一性が高い材料であるため、津波荷重を受けるコンクリート壁の解析に際して不均一性の高い素材を高効率で解析できる手法を選択することが重要である。既存の有限要素法における亀裂解析手法である、リメッシュ法や joint-element 法、メッシュレス手法は大規模構造物の3次元破壊解析では計算量が多く、非効率的である。本研究では、材料の不均一性・破壊解析の計算効率性の高さを併せ持った手法である、PDS-FEM を使う。動的亀裂進展を解析することができるよう改良した PDS-FEM の分散メモリ型並列プログラムを開発し、実験で得られた亀裂形状との比較を通してプログラムを検証する。

4. 研究成果

プログラムの検証のため、既往研究（腎臓結石の衝撃破砕実験）の結果を利用する。この研究では、動的破壊時の亀裂進展のひび割れパターンだけでなく、衝撃荷重により誘発される過渡応力も報告されている。Figure1 に示すように、実験で得られた3次元光弾性縞様パターンは数値解析結果と良い一致を示している。各々の縞は 0.5 から 1.0MPa の主応力差であるため、十分な精度での応力計算が可能であることが分かる。Figure2(a) は実験で得られた、衝撃平面波に晒された円筒物のひび割れパターンを示している。Figure2(b) は数値解析によって得られた結

果を示している。本手法は単純ではないこのひび割れパターンを高精度に再現することができており、本手法の確からしさを示している。

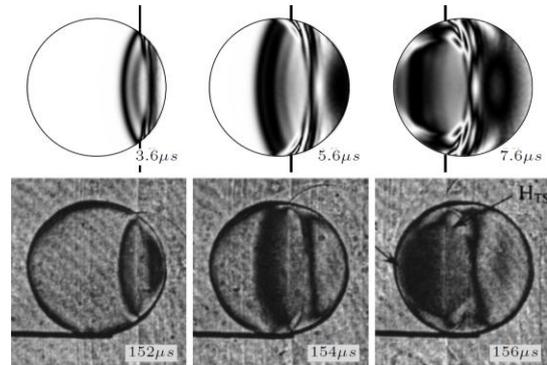


Figure 1 円筒物への水平衝撃波による3次元光弾性パターン、数値解析結果(上)、実験結果(下)

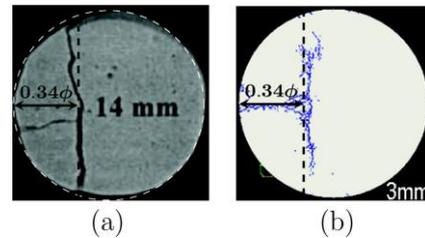
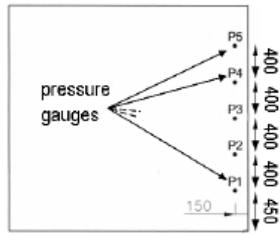
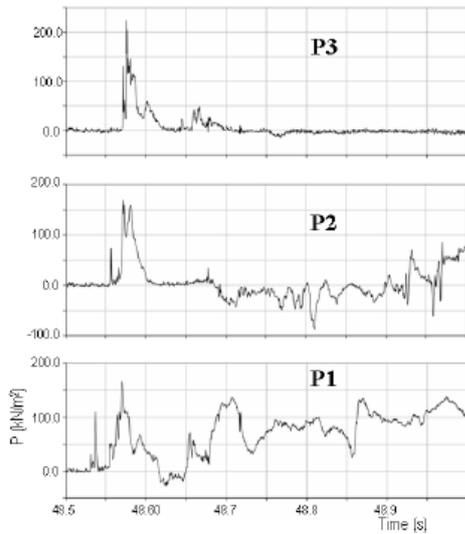


Figure 2 円筒物への水平衝撃波によるひび割れパターン、実験結果(左)、数値解析結果(右)

検証されたこのプログラムにより、津波衝撃力（津波高さ 2m）によって 2.5m x 2.5m のコンクリート内に発生したひび割れパターンの再現解析を行った。この実験は港湾技術研究所の大規模波動地盤総合水路において行われたものである。Figure 3 (a) に示す 5 点において圧力履歴が計測された。また、Figure 3 (b) に、それらのうち 3 点での計測された圧力の時刻歴を示す。この計測された圧力の時刻歴を入力条件として、コンクリート壁のクラック進展パターンと誘発される過渡応力についてシミュレートした。Figure 4 は実際の鉄筋コンクリート壁の寸法を元に作成した数値モデルの詳細を示す。実験では 2 本の柱の背面と鉛直縁のみが固定されている。計測された圧力履歴が 5 点のみしかないので、壁前面における圧力分布はこれらを補間することにより求めた。また、このモデルは実際のモデルと同様の形状と材質の補強メッシュ ($\phi = 6\text{mm} @ 200\text{mm} \times 200\text{mm}$) もモデル化している。なお、コンクリートと鉄の物性は Table 1 に示す値を用いた。ここで、 σ_0 は



(a)



(b)

Figure 3 観測ゲージの配置 (a) および P1, P2, P3 での圧力履歴 (b)

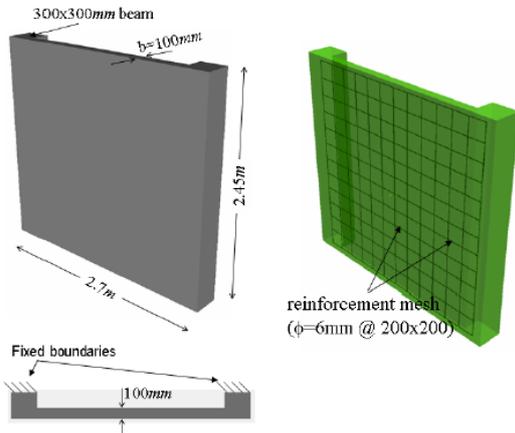


Figure 4 数値モデルの寸法

Tuler-Buture の破壊基準による閾値である。このモデルは約 5 百万要素で分割されており、Voronoi ブロックの平均サイズは骨材程度となっている。このことは実際の実験体のセメントペーストの不均質な分布をモデル化しており、PDS-FEM によって実験によって観測されたひび割れパターンと近いパター

	Concrete	Steel
E / (GPa)	20	200
ν	0.2	0.3
ρ / (kg/m ³)	2400	7800
σ_0 / (MPa)	5	200

Table 1 用いた物性値

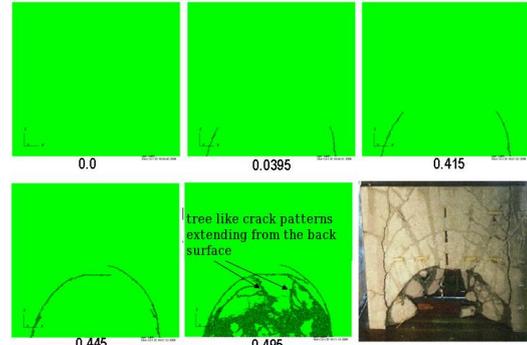


Figure 5 コンクリート壁前面におけるひび割れパターン (右下は実験)

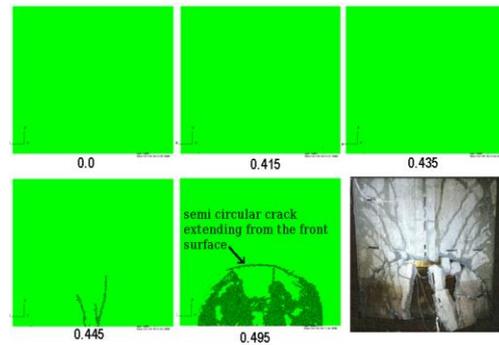


Figure 6 コンクリート壁背面におけるひび割れパターン (右下は実験)

ンを得ることができる。Figure 5 と 6 はそれぞれコンクリート壁の前面と背面での計算されたひび割れの概形と実験結果を示す。各図の下に示す数字は時刻 (秒) である。実験体前面では初期ひび割れは底面の梁の連結部近辺の応力集中部で生じている。水位の上昇に伴い、これらのひび割れは徐々に進展する。実験体背面では、前面のひび割れが背面に到達する 0.43 秒まではひび割れは見られない。次いで、樹状のひび割れが背面で発生し、さらには崩壊が観測される。比較のため、実験で観測されたひび割れパターンを Figure 5, 6 右下に示す。実験結果と数値シミュレーションの結果が良く一致していることが分かる。実験では壁前面は水に被われているので、ひび割れが進展していく様子を観測することはできない。この開発されたプログラムの有用性はひび割れの進展状況を把握するだけでなく、応力の進展状況も把握可能な点にある。ひび割れと応力の進展状況の詳細な情

報は、沿岸構造物のひび割れの進展を防いだり、遅らせたりするための対策を考える上で重要である。また、実際の実験を行う前にこれらの情報を見積もることも可能であり、効果的な対策を考えるための時間と経費を削減する。更なるチューニングと検証により、将来的にはこのプログラムは実践的な応用に対する有益なツールとなり得ると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (3)

- 1) M. L. L. Wijerathne, Hide Sakaguchi, Muneo Hri and Kenji Oguni, 3D dynamic simulation of crack propagation in extracorporeal shock wave lithotripsy, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 10-1, 2010 (査読有)
- 2) M. L. L. Wijerathne, Hide Sakaguchi and Muneo Hri, Simulation of dynamic crack growth in shock wave lithotripsy with PDS-FEM, Journal of Applied Mechanics(JSCE), Vol. 13, 253-262, 2010 (査読有)
- 3) M. L. L. Wijerathne, Hide Sakaguchi, Muneo Hri and Kenji Oguni, 3D dynamic crack propagation analysis with PDS-FEM, JAMSTEC Report of Research and Development, Vol. IFREE special issue, pp 193-200, 2009 (査読有)

[学会発表] (3)

- 1) M. L. L. Wijerathne, Hide Sakaguchi, Muneo Hri and Kenji Oguni, 3D dynamic simulation of crack propagation in extracorporeal shock wave lithotripsy, The 9th World Congress on Computational Mechanics and 4th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics, 20st July 2010, Sydney, Australia.
- 2) M. L. L. Wijerathne, Hide Sakaguchi and Muneo Hri, Simulation of dynamic crack growth in shock wave lithotripsy with PDS-FEM, JSCE symposium on Applied Mechanics, 2010, Hokkido, Japan.
- 3) M. L. L. Wijerathne, Hide Sakaguchi, Muneo Hri and Kenji Oguni, Simulations of 3D crack profiles in shock wave lithotripsy, Annual meeting of the Acoustical Society of America, 20th May, 2009, Portland, USA.

[その他]
ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

マッデゲダラ ラリット

(Maddegedara Lalith)

東京大学・大学院工学系研究科・特任助教

研究者番号：20426290

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし