

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25249079

研究課題名(和文) RC建物の津波浮遊物に対する衝撃耐力評価とその改善方法に関する実験的研究

研究課題名(英文) Evaluation and improvement of impact load resistance of reinforced concrete walls

研究代表者

田中 仁史 (TANAKA, HITOSHI)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：20132623

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：津波浮遊物に対するRC造建物の耐衝撃設計法の確立を目的にRC造壁を対象とした衝撃実験を行った。想定される津波流速で衝撃実験を行った結果、表面破壊・裏面剥離・貫通破壊といった局部損傷を再現できた。また、局部損傷評価式であるHughes式の評価精度について検証を行い、基準コンクリート強度を用いることで、すべての実験結果において安全に評価可能な局部損傷評価式を提案した。また、補強試験体については、すべての補強方法で裏面剥離が生じず、貫通破壊に至る前まで補強面のコンクリート飛散を完全に防いだ。本研究の成果を用いることで、安全に耐衝撃設計を行うことができるようになると思われる。

研究成果の概要(英文)：In order to design tsunami-resistant RC buildings, development of design methods for debris impact loads is necessary. In this study, impact tests were conducted using a lateral impact loading system to evaluate the performance of RC buildings. Thirty-six RC wall specimens were tested to investigate the effects of impact load on local damage. Damage of specimens was classified as penetration, scabbing, and perforation. The limit impact velocity for scabbing and perforation was evaluated by proposed equations which was modified from Hughes' equations. The proposed equations evaluated the limit impact velocity for scabbing and perforation with good accuracy.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：Tsunami debris impact load reinforced concrete wall scabbing perforation

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波による被害が東北地方沿岸部をはじめ広範囲及んだ。建築物に対する被害では、木造建築物のみならず、従来津波に対して強いとされてきた鉄筋コンクリート造(以下RC造)建物も甚大な被害を受けた。なかでも、船舶・コンテナ・流木等といった津波浮遊物の衝突による損傷がこれほどの規模で生じたことは記録に残っている範囲では国内初であり、その対策は緊急性を要する。また、今後発生する津波への社会的関心は高まっており、安全な避難場所、特に高台や津波避難ビルへの社会的な要求は高くなっている。内閣府が発表した津波防災対策による試算では、『津波避難ビルに逃げ込む事ができれば津波による死者数を最大で8割減らせる』としている。この事から、将来発生が確実といわれている東海・東南海地震による津波被害に向けて、津波避難ビルの構造設計法の確立を目指し、早急に研究を推し進める必要がある。

2005年6月に内閣府によって「津波避難ビル等に係るガイドライン」(以下、「ガイドライン」という)が示された。その巻末に(財)日本建築センターにおける検討結果を引用した「構造要件の基本的な考え方」がまとめられている。(財)日本建築センターでは、さらに2005年度にも成果の一部見直しや設計式の実施等を行った。さらに2011年には、東日本大震災の津波被害を踏まえ、津波被害を受けた建築物等被害状況に基づき、「ガイドライン」に示された津波避難ビルの構造設計法について、その妥当性の検証および見直しの必要な項目の抽出やその内容に関する検討が「津波被害を受けた建築基準等の整備に資する検討」において行われている。これらの成果は、技術的助言(国住指第2570号、2011年の別添「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」(以下、「暫定指針」という)に反映された。「暫定指針」に示されている津波避難ビルの構造設計における模式図を図1に示す。

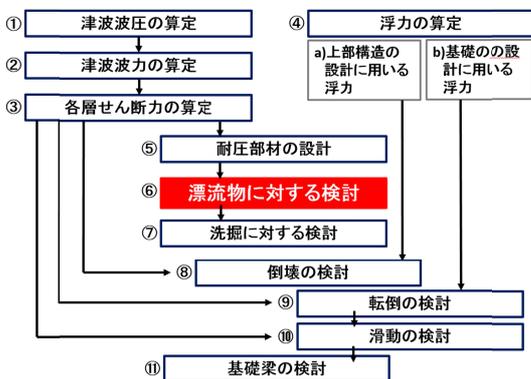


図1 津波避難ビル設計の流れ

津波避難ビルの構造設計では、大きく分けて11種の項目について検討する必要がある。ここに「漂流物に対する検討」という項目がある。ここでは『漂流物が建築物に衝突して構造耐力上主要な部分が一部損傷したとしても、損傷した部材が支持していた軸力を別の部材が代わって支持する等の方法によって、層としての軸力支持能力が喪失されないことを確認する』といった、耐震診断における第2種構造要素の検討と同様な検討を行う事、としている。しかし、津波浮遊物がRC造建物に衝突した際に引き起こされる裏面剥離や貫通といったパンチングシアによる局部損傷についての記載はない。また、津波浮遊物に対しての衝撃耐力、耐力評価式や靱性改善方法についての記述もなく、津波浮遊物の衝突に対しての構造設計法は、ほぼ無策の状態となっているのが現状である。その理由として挙げられるのが、RC造建物の耐衝撃設計の複雑さにある。耐衝撃設計において、衝撃応答に及ぼす因子(例えば、衝突体速度、衝突体先端形状、コンクリート強度、コンクリート壁厚など)が膨大である事と、終局耐力を考慮するための非線形挙動や破壊現象の機構が明らかにされていない。このため、衝撃荷重を受けるRC造建物の設計方法は未だ十分に確立されていない。このことから、本研究では津波浮遊物に対するRC造建物の耐衝撃設計法の確立を目的に研究を行う。

2. 研究の目的

国内外では、このような津波浮遊物に対する問題解決を目的に数多くの研究成果が発表されている。しかし、これまでに実施されたRC造建物の耐衝撃性に関する研究は、主にミサイルや銃弾を想定した衝突速度が100m/s以上と、高速の衝突物に対するものがほとんどであり、津波漂流物を想定する低速度の衝突物に関しての研究は、ほとんど行われていないのが実情である。ここで、文献において、東北地方太平洋沖地震時の津波流速が約7m/sと推定されていることから、本研究では津波流速を10m/s前後として検討を行う。津波避難ビルの構造設計において、津波浮遊物による衝突といった外力に対して、構造物の安全性だけでなく構造物内にいる人体への被害を抑止する為には、外力を受ける部材の構造性能を正しく評価する事がきわめて重要になる。そのため、津波漂流物の衝突を受けるRC造建物の局部損傷を精度良く予測可能な評価式を提案し、津波避難ビルの構造設計に反映させる必要があると考える。

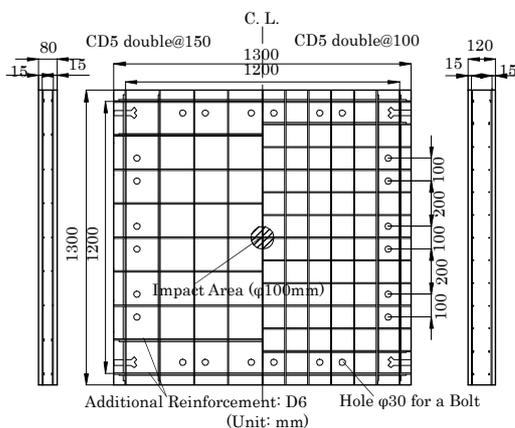
3. 研究の方法

本研究では、津波浮遊物の衝突を受けるRC造壁の設計法の提案を目的とし、縮尺50%RC造壁試験体36体(無補強試験体20体、補強試験体16体)を対象とした、水平衝撃載荷実験を行なった。無補強試験体では、

壁厚，コンクリート強度，衝突体速度及び質量による局部損傷への影響を明らかにし，裏面剥離や貫通といった局部損傷の評価可能な設計式を提案する。一方，補強試験体では，損傷低減を目的とした裏面補強（CFRP(炭素繊維シート)，ポリウレア，ポリウレタン）および補強効果について検討した。実験の計画・結果・考察について，下記に示す。

(1) 試験体諸元

表 1 に試験体諸元，衝突速度および破壊モードを示す。試験体は，津波浮遊物の衝突を受ける RC 造壁を想定した縮尺 50% の RC 版 36 体である。図 2 に，試験体概要を示す。共通因子として，試験体を一辺 1300mm の正方形とし，壁厚（80mm，120mm）に関わらず壁筋比が一定（ $P_w=0.33\%$ ）となるようにした。壁筋は複筋とし，最外縁壁筋のかぶり厚さは 15mm である。壁筋には，公称直径 5mm のインデント型溶接金網（CD5）を用いた。変動要因は，コンクリート強度・壁厚・衝突速度および補強の種類である。無補強試験体の基準試験体である L29 は，壁厚さ 120mm でコンクリート設計基準強度 24MPa（以下， F_c と略す）の普通コンクリートを使用した。基準試験体に比べ S29 は壁厚さを 80mm とし，L51 は $F_c60\text{MPa}$ の高強度コンクリートに変更，S51 は壁厚さを 80mm で $F_c60\text{MPa}$ とした。補強を施した試験体は，L29 と同形で無補強の STD を基準試験体とし，エポキシ系樹脂であるポリウレアまたはポリウレタンを試験体裏面に 2mm 厚で吹付けたものをそれぞれ PUA，PUT，炭素繊維の一方向高強度クロス（目付量 $200\text{g}/\text{mm}^2$ ）を直交二方向二重に貼付けたものを FRP，さらにその上からポリウレアを 2mm 厚で吹付けたものを FPA とした。試験体は，同設計条件の RC 版 4 体で 1 シリーズとし計 9 シリーズを用意した。衝突体は，試験体中央（図 2 の Impact Area）に衝突させた。この時，衝突体衝突位置に対する壁筋の有無が破壊性状に影響を及ぼさぬよう，壁筋交差位置を試験体中央に配した。また，PUA，FRP，FPA において衝突体質量 104.95kg で貫通破壊を生じなかったため，質量を 152.25kg に変更し衝撃荷重を行った。



(a) S29, S51 (b) STD, L29, L51

図 2 試験体配筋図

表 1 試験体諸元

Test designation	Specimen			Impact object	Mode of damage	
	Thickness (mm)	Compressive strength (MPa)	Strengthening material			
L29a	120	28.8		5.14	Penetration	
L29b				5.81	Penetration	
L29c				6.77	Scabbing	
L29d				9.80	Perforation	
S29a	80			2.61	Penetration	
S29b				5.43	Penetration	
S29c				6.18	Perforation	
S29d				6.44	Perforation	
L51a	120			51.4	5.79	Penetration
L51b					7.76	Scabbing
L51c					8.50 ^{*1}	Scabbing
L51d					9.33	Perforation
S51a	80	2.68	Penetration			
S51b		5.45	Penetration			
S51c		6.91	Perforation			
S51d		8.47	Perforation			
STD-a	120	19.9	6.42		Scabbing	
STD-b			7.39		Scabbing	
STD-c			8.07		Scabbing	
STD-d			9.07		Perforation	
PUA-a			Polyurea	10.25	deformed ^{*2}	
PUA-b				12.78	Perforation	
PUA-c				8.14	crack ^{*2}	
PUA-d				9.18	Perforation	
FRP-a			CFRP	10.34 ^{*1}	Delamination	
FRP-b				13.25	Delamination	
FRP-1				8.67	Delamination	
FRP-2				10.45	Perforation	
FPA-a	CFRP + Polyurea	12.11 ^{*1}	Delamination			
FPA-b		12.8	Delamination			
FPA-1		8.32	Delamination			
FPA-2		10.50 ^{*1}	Perforation			
PUT-a	Polyurethane	25.8	6.54 deformed ^{*2}			
PUT-b		23.2	7.55 deformed ^{*2}			
PUT-c		25.8	10.50 crack ^{*2}			
PUT-d		25.8	13.08 Perforation			

Note : *1 : Measured by laser velocity sensors
 *2 : Damage of strengthening material
 N/A : No measurement was taken
 - : Penetration didn't occur
 **** : Perforation was taken

(2) 荷重方法

図 3 に，防衛大学校所有の水平衝撃荷重載荷装置を示す。本装置は，反力フレーム，ゴム棒，油圧ユニットおよび衝突体により構成されている。図 4 に，衝突体概要を示す。衝突体は載荷装置のガイドに沿って移動し，所定の位置に正確に衝突させることが可能である。また，ゴム棒を油圧ジャッキによって所定の長さだけ伸張させ，ゴム棒の弾性エネルギーを利用し，任意の速度を得ることができる。衝突体質量は 104.95kg，錘を加えると最大で 152.25kg となる。衝突体の先端形状は平坦型とし，直径 100mm の鋼製（S45C）で構成されている。また，衝突体直径と同径の鋼製円柱（100×h100mm，質量 6.18kg）を試験体衝突面側に設置し，衝突荷重を測定した。衝突速度は，高速度ビデオカメラと載荷装置に設置されているレーザー式速度センサの 2 システムから独立して計測した。レーザー式速度センサは衝突位置からおよそ 1m

離れた位置に設置されており、衝突直前の速度より大きな値となる傾向が見られたため衝突速度には高速度ビデオカメラの値を使用する。試験体は口字型の固定治具を用いて、1辺につき6個所をM16ボルトによって固定し、4辺とも面外方向の回転を拘束するように努め反力フレームに設置した。

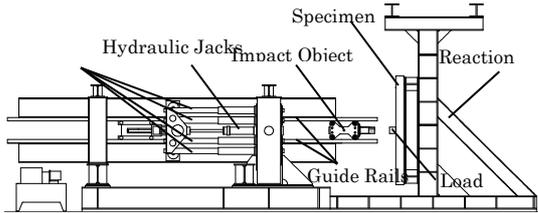


図3 水平衝撃荷重載荷装置

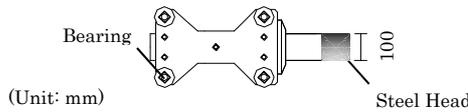


図4 衝突体

(3) 実験結果

実験結果のうち、試験体の破壊性状をいかに説明する。また、それぞれの試験体の破壊モードを表1に示す。無補強試験体において、すべての試験体シリーズで貫通破壊を再現した。裏面剥離となったすべての試験体において、衝突体範囲円形状にコンクリートが陥没しており、壁筋がコンクリートのパンチングシア破壊を防いでいた。貫通破壊では、貫通孔周辺にひび割れはほとんど見られず、局所的な破壊を生じていた。壁厚120mmのSTD, L29, L51では、衝突速度が6m/sから9m/sまでの損傷が裏面剥離となり、9m/s以上では貫通破壊を生じた。壁厚80mmのS29, S51では、衝突速度が6m/sを超えた段階で貫通破壊を生じ、裏面剥離は確認されなかった。また、コンクリート強度による破壊性状の明確な違いは確認されなかった。

補強を施した試験体では、エポキシ系樹脂補強を施した試験体 PUA・PUT は、RC版の面外方向変位にともない補強材が大きく盛り上がった。衝突速度がさらに速くなると、中心から垂直方向の亀裂が発生した後に貫通破壊となった。炭素繊維補強を施した試験体 FRP・FPA は裏面の補強材とコンクリートの間で層間剥離が生じ、最終的に貫通破壊を生じた。貫通破壊に至った速度は、STDは衝突体質量104.95kgでおよそ9m/sに対し、PUA・PUTではおよそ13m/s、FRP・FPAでは貫通が生じなかった。FRP・FPAは衝突体質量152.25kgで、およそ10m/sで貫通破壊となった。補強試験体では、貫通破壊が生じるまで試験体裏面にコンクリートの剥離・剥落や飛散は生じなかった。

(4) 無補強試験体における局部損傷評価式の提案

既往の研究から、衝撃を受けるRC版の局

部損傷（裏面剥離・貫通）を予測する評価式が提案されている^{例えば}。局部損傷評価式は、衝突速度に対する裏面剥離が生じる限界板厚さや貫通が生じる限界厚さ（以下、それぞれを裏面剥離限界厚さ、貫通限界厚さと略す）を算定する。13式の局部損傷評価式を用いて精度検証を行った。その結果、Hughes式が最も破壊性状を良く評価した。ここで、Hughes式を用いた局部損傷評価精度の検討および実験結果に対する精度向上を目的とした評価手法の提案を行う。いかにHughes式を示す。

Hughes式：

$$\frac{x}{d} = 0.19 \frac{N_h I_h}{S} \quad (1)$$

$$I_h = \frac{MV^2}{d^3 f'_t} \quad (2)$$

$$S = 1.0 + 12.3 \ln(1.0 + 0.03 I_h) \quad (3)$$

$$\frac{e}{d} = 3.6 \frac{x}{d} \quad \left(\frac{x}{d} < 0.7\right) \quad (4)$$

$$\frac{e}{d} = 1.58 \frac{x}{d} + 1.4 \quad \left(\frac{x}{d} \geq 0.7\right) \quad (5)$$

$$\frac{h_s}{d} = 5.0 \frac{x}{d} \quad \left(\frac{x}{d} < 0.7\right) \quad (6)$$

$$\frac{h_s}{d} = 1.74 \frac{x}{d} + 2.3 \quad \left(\frac{x}{d} \geq 0.7\right) \quad (7)$$

x ：貫入深さ(m)、 e ：貫通破壊限界厚さ(m)、 h_s ：裏面剥離限界厚さ(m)、 d ：衝突体直径(m)、 M ：質量(kg)、 V ：速度(m/s)、 f'_t ：引張強度(Pa)、 I_h ：衝撃係数、 S ：動的強度増加率

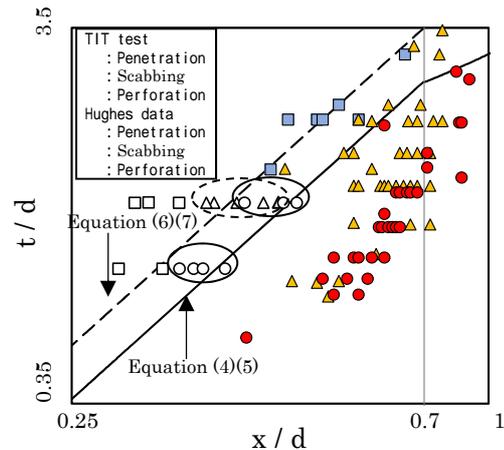


図5 実験結果と既往評価式（Hughes式）

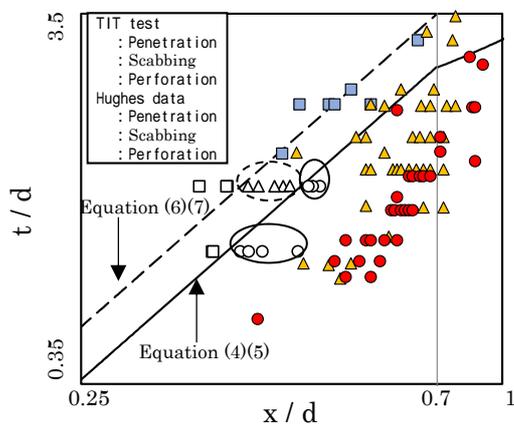


図6 実験結果と提案式（修正 Hughes 式）

図5に無補強試験体20体の実験結果と局部損傷評価式を示す。図中白抜きの \square を表面破壊、 \circ を裏面剥離、 \triangle を貫通破壊として実験結果をプロットした。図中の塗り潰しのプロットは Hughes が式を提案する際に用いた実験結果である。また破線は式(4)(5)で求められる裏面剥離限界厚さを、実線は式(6)(7)で求められる貫通破壊限界厚さを示している。ひび割れ(\square)は裏面剥離限界厚さ(破線)の左側に、裏面剥離(\circ)は裏面剥離限界厚さ(破線)と貫通限界厚さ(実線)の間に、貫通破壊(\triangle)は貫通限界厚さ(実線)の右側に位置すると、評価式が正確に破壊性状を予測する。裏面剥離(\circ)が裏面剥離限界厚さ(破線)の左側、または貫通破壊(\triangle)が貫通限界厚さ(実線)の左側に位置すると危険側の評価となる。図5から、破線で囲まれた裏面剥離(\circ)が裏面剥離限界厚さ(破線)の左側に、実線で囲まれた貫通破壊(\triangle)が貫通限界厚さ(実線)の左側に位置し、実験結果を危険側に評価している。本実験の結果では、壁厚による破壊性状への影響は確認されたが、コンクリート強度による破壊性状への明確な影響は確認されなかった。一方、Hughes 式(式(1))ではコンクリート引張強度による影響を考慮した式となっている。したがって、図5で確認された評価精度の低下はコンクリート引張強度の影響と考えられる。STD は $f'_t 1.76\text{MPa}$ 、L29・S29 は $f'_t 2.44\text{MPa}$ 、L51・S51 は $f'_t 3.44\text{MPa}$ である。ここでコンクリート引張強度を、設計における基準コンクリート引張強度 ($f'_{ts} = 1.76\text{MPa}$) として計算に用いることにより、局部損傷を評価する手法を提案する。

図6に、 f'_{ts} を用いる提案式による評価曲線を示す。破線で囲まれた裏面剥離が裏面剥離限界厚さの右側に、実線で囲まれた貫通破壊が貫通限界厚さの右側に位置しており、すべての実験結果を安全側に提案式が精度良く実験結果を評価していることが確認できた。これらの検討から、Hughes 式に用いるコンクリート引張強度に、($f'_{ts} = 1.76\text{MPa}$)を用いることにより、局部損傷(裏面剥離・貫通破壊)を精度良く評価可能となった。

4. 研究成果

本研究では、津波浮遊物に対する RC 造建築物の耐衝撃設計法の確立を目的に RC 造壁を対象とした衝撃実験を行った。想定される津波流速で衝撃実験を行った結果、表面破壊・裏面剥離・貫通破壊といった局部損傷を再現できた。また、局部損傷評価式である Hughes 式の評価精度について検証を行い、基準コンクリート強度を用いることで、すべての実験結果において安全に評価可能な局部損傷評価式を提案した。また、補強試験体については、すべての補強方法で裏面剥離が生じず、貫通破壊に至る前まで補強面のコンクリート飛散を完全に防いだ。

現在までは、RC 造津波避難ビルの構造設計時に用いることのできる局部損傷評価式がなかったために、津波浮遊物に対する衝撃設計を行うことが難しかった。しかし、本研究の成果を用いることで、安全に耐衝撃設計を行うことができるようになると考えられる。今後の津波避難ビルの構造設計における本研究の貢献度は非常に高い。特に、今後発生が予想されている東海・東南海地震では、津波被害も想定されており、その津波被害予想地域において建設予定の津波避難ビルに対し、非常に有用な工学的知見を提供することができたと考えられる。

ただし、本研究で得られた局部損傷評価式は、限られた実験結果を基に開発されたものであり、今後さらなる実験結果による、評価式の精度検証が必要である。

< 引用文献 >

内閣府：南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(第一次報告)，2012，8月29日，(http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_higai.pdf)。

内閣府：津波非難ビル等に係るガイドライン，2005。6

(財)日本建築センター：平成16年津波避難ビルに関する調査検討 報告書，2005。3

東京大学生産技術研究所：平成23年度建築基準整備促進事業「40.津波危険地域における建築基準の整備に資する検討」

国土交通省：津波に対し構造上安全な建築物の設計法等に係る技術的助言(国住指第2570号)の別添，東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針，2011。

国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査研究(速報)，2011。5，(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/132/index.html>)

NDRC: Effects of impact and explosion. Summary Technical Report of Division 2, vol. 1, National Defense Research Committee, Washington, DC, 1946.

Hughes G: Hard missile impact on reinforced concrete. Nuclear Engineering and Design, 1984, 77:23-35.

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〕(計 2件)

中村聡, 渡邊秀和, 河野進, 藤掛一典, 田中仁史, 鈴木紀雄, 津波浮遊物の衝突を受ける RC 壁の局部損傷評価に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, Vol.80, No.715, pp.1459-1468, 2015.9

小原拓, 中村聡, 渡邊秀和, 河野進, 津波浮遊物による衝撃を受ける鉄筋コンクリート造壁におけるパンチング破壊性状の評価に関する実験的研究, 日本コンクリート工学年次論文集, 査読有り, Vol.37, pp.589-594, 2015.7

〔学会発表〕(計 6件)

小原拓, 中村聡, 河野進, 渡邊秀和, 藤掛一典, アモンテップ・ソムラート, 田中仁史, 鈴木紀雄, 津波浮遊物の衝突を受ける RC 壁の局部損傷に関する実験的研究 その4 実験結果及び既往評価式の精度検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読なし, C-2, pp.309-310, 2015.9

中村聡, 小原拓, 河野進, 渡邊秀和, 藤掛一典, アモンテップ・ソムラート, 田中仁史, 鈴木紀雄, 津波浮遊物の衝突を受ける RC 壁の局部損傷に関する実験的研究 その3 実験概要及び破壊形式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読なし, C-2, pp.307-308, 2015.9

Hidekazu WATANABE, S. Nakamura, Susumu KONO, K. Fujikake, A. Somraj, H. Tanaka, An experimental study on the local damage of reinforced concrete walls caused by collision of tsunami debris, The 11th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures, Ottawa, CANADA, 査読なし, 2015.5

アモンテップ・ソムラート, 中村聡, 河野進, 藤掛一典, 渡邊秀和, 田中仁史, 鈴木紀雄, 津波浮遊物の衝突を受ける RC 壁の局部損傷に関する実験的研究 その1: 実験概要と結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読なし, C-2, pp.357-358, 2014.9

中村聡, アモンテップ・ソムラート, 河野進, 藤掛一典, 渡邊秀和, 田中仁史, 鈴木紀雄, 津波浮遊物の衝突を受ける RC 壁の局部損傷に関する実験的研究 その2: 局部損傷評価式の精度検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読なし, C-2, pp.359-360, 2014.9

Hidekazu WATANABE, Susumu KONO, S. Nakamura, Experimental study on the impact damage of reinforced concrete walls caused by collision of tsunami debris, The 16th Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake

Engineering for Building Structures, 査読なし, pp.11-18, 2014.9

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中仁史 (TANAKA, Hitoshi)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 20132623

(2) 研究分担者

西山峰広 (NISHIYAMA, Minehiro)
京都大学・工学研究科・教授
研究者番号: 50183900

谷 昌典 (TANI, Masanori)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 50533973

丸山敬 (MARUYAMA, Takashi)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 00190570

藤掛一典 (FUJIKAKE, Kazunori)
防衛大学校・システム工学群・教授
研究者番号: 10532799

河野 進 (KONO, Susumu)
東京工業大学・応用セラミックス研究所
所・教授
研究者番号: 30283493

渡邊秀和 (WATANABE, Hidekazu)
東京工業大学・応用セラミックス研究所
所・助教
研究者番号: 20620636

鈴木紀雄 (SUZUKI, Norio)
鹿島建設株式会社・技術研究所・研究員
研究者番号: 50146765