

津波漂流物の衝突を想定した RC 部材の挙動に関する実験的研究

その1 実験概要

Experimental Study on Behavior of RC Members Caused by Collision of Tsunami Drift-age Experimental Overview

○柴田明奈¹, 菅野裕識², 北嶋圭二³, 中西三和³, 安達洋⁴
Akina Shibata¹, Kanno Hironori², Keji Kitajima³, Mitsukazu Nakanishi³, Hiromi Adachi⁴

The purpose of this study is to investigate the behavior of RC members caused by a collision of Tsunami Drift-age. In this study, the static loading test and the drop tests of weight to steel and RC beams are performed. In this paper, the outline of test is presented.

1. はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震では、地震によって発生した津波が太平洋沿岸の広い範囲に甚大な被害を与えた。木造家屋の多くが流出し、鉄筋コンクリート(RC)造や鉄骨(S)造の建物においても水圧や洗掘により転倒したり、津波漂流物の衝突により大きな損傷を受けた¹⁾。今後も南海トラフ地震等による津波被害の発生が危惧されており、沿岸地域では津波被害への対応が求められる。

本研究では、小型船舶や小型自動車などの津波漂流物が建築物に衝突したときの衝突荷重を把握することを目的として RC 部材を対象に錘の落下実験を実施した。なお、エネルギー保存則に基づく基本的な衝突現象の把握を目的としていることから流体の影響は無視した。

2. 実験概要

2.1 試験体

Fig.1 に試験体形状図及び配筋, Table.1 に構造諸元を示す。試験体は、低層の RC 造建物の柱を想定した実大柱の 1/4 縮尺モデルであり、寸法(B×D×L(L))は 125 × 125 × 1300(1000)mm である。本実験は錘の自由落下実験であることから、重力の加速度と、縮小試験体においても同じ材料を使用するという条件に基づく相似則²⁾を適用して Table.2 に示すように各物理量を設定した。なお、重量の影響は無視できるものとする。

試験体の主な構造諸元はコンクリートの設計基準強度 21N/mm², 主筋 6-D6 (SD295, P_g=1.23%), せん断補強筋 2-D4@40 (SD295, P_w=0.56%)である。曲げ降伏時の割線剛性は弾性剛性に剛性低下率 α_y(菅野式³⁾)をかけた値(5.8kN/mm)とし、理論値(衝突荷重及び変位)の算出に用いた。Table.3, Table.4 に材料試験結果を示す。コンクリートの材料試験は载荷実験の前後でテストピース各 3 体ずつ行い、表にはそれぞれの平

均を示した。鉄筋の降伏強度は、D6, D4 共に明瞭な降伏ひずみを得られなかったため、初期弾性定数のひずみ 0.2%のオフセット時における値である。

2.2 実験装置

Fig.2 に衝撃载荷実験装置の概念図を示す。図に示すように実験は、単純支持梁のスパン中央に錘を落下させる衝撃载荷実験である。単純支持する支点での跳ね返りを拘束するために Fig.3 に示すように梁を貫通する PC 鋼棒を用いてあらかじめ梁を締め付けている。

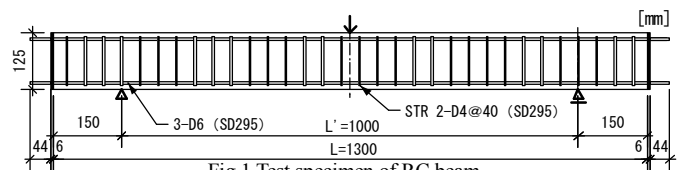


Fig.1 Test specimen of RC beam

Table.1 Structural variables

寸法 b × D × L (L') [mm]	質量 [kg]	M/QD	コンクリート設計基準強度 F _c [N/mm ²]	主筋	せん断補強筋	曲げ終局強度 Q _{mu} [kN]	せん断余裕度	剛性 k α _y [kN/mm]
125 × 125 × 1000 (1300)	49	4.0	21	6-D6 (SD295) P _g =1.23[%]	2-D4 (SD295) P _w =0.65[%]	13.1	1.5	5.8

Table.2 Similitude law

	模型	縮尺	実物	模型	縮尺	実物	
長さ	L _m	= 1/4	・ L _p	応力	σ _m	= 1	・ σ _p
質量	W _m	= 1/16	・ W _p	ひずみ	ε _m	= 1	・ ε _p
加速度	α _m	= 1	・ α _p	固有振動数	f _m	= √4	・ f _p
速度	V _m	= 1/√4	・ V _p	周期	T _m	= 1/√4	・ T _p
ヤング係数	E _m	= 1	・ E _p				

Table.3 Material properties of concrete

寸法 [mm ²]	試験体名	材令 [日]	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	割裂強度 [N/mm ²]
φ 100 × 200	C-H25-1	26	18.3	2.18 × 10 ⁴	1.62
	C-H25-2	41	20.0	3.08 × 10 ⁴	2.57
	C-H26-1	35	26.2	3.13 × 10 ⁴	2.51
	C-H26-2	64	27.8	2.79 × 10 ⁴	2.83

※試験体名 C-H25-1 及び C-H25-2 は昨年度実施, C-H26-1 及び C-H26-2 は今年度実施した実験結果である。

Table.4 Material properties of reinforcement

規格	試験体名	降伏強度 [N/mm ²]	降伏ひずみ [μ]	弾性係数 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]
D4*	D4-H25	362.5	1935	1.87 × 10 ⁵	528
	D4-H26	367.9	1839	2.00 × 10 ⁵	473
D6*	D6-H25	347.0	1861	1.89 × 10 ⁵	528
	D6-H26	341.3	1713	1.99 × 10 ⁵	568

※明瞭な降伏ひずみを得られなかったため初期弾性係数のひずみ 0.2%のオフセット時の降伏強度を求めた。降伏ひずみは弾性係数と降伏強度の関係から求めた。
※試験体名 D4-H25 及び D6-H25 は昨年度実施, D4-H26 及び D4-H26 は今年度実施した実験結果である。

1:日大理工・学部・海建 2:日大理工・院(前)・海建 3:日大理工・教員・海建 4:日大名誉教授

支点反力は梁の上下に設置したロードセルの測定値の和として求め、左右反力の合計を梁に作用する衝撃荷重とした。Fig.4 に錘形状を示す。錘の質量は、小型船舶や小型自動車程度の質量(約 1t)を想定し、Table.2 の質量に関する相似則(1/16)を適用した質量 60kg の錘に加え、質量 30kg の錘も用意した(Fig.4)。錘の衝突面は、試験体との片あたりを防ぐために曲率半径 600mm の球面仕上げとした。Fig.5 に変位及びひずみの計測位置を示す。データの収録はデジタル動ひずみ計を用いサンプリング周波数 10kHz、20kHz で行った。なお、衝撃載荷実験の部材挙動を検討するために、反力フレームと油圧ジャッキにより静的載荷実験を実施した。なお、支点治具と計測項目は同じとした。

2.3 実験パラメータ

Table.5 に実験パラメータを示す。試験体の部材性能を把握するための静的載荷実験と、錘の質量及び衝突速度をパラメータとした錘の衝突実験を行った。錘の衝突速度は、津波の遡上速度と津波漂流物の衝突速度が等しいとして、最大 10m/s(36km/h)を想定している。実験では、Table.2 の速度に関する相似則(1/√4)より最大衝突速度を 5m/s とした。本実験では錘を自由落下させるが、衝突速度は位置エネルギー(Ug=mgh)と運動エネルギー(3)式を等置した(1)式より算出する。

$$V = \sqrt{2gh} \quad \dots (1)$$

V : 錘の衝突速度(m/s)
g : 重力加速度(m/s²)
h : 錘の落下高さ(mm)

3. 弾性体における衝突荷重の理論値算定法²⁾

Fig.6 に衝突現象概念を示す。錘の衝突時における最大荷重と変位の理論値は、図中仮定条件を満たすものとして、エネルギー保存則に基づき誘導した。仮定条件③より衝突による動的たわみを生じさせる外力は、弾性体の力-変位関係から F=ku によって表せる。従って、梁のひずみエネルギーは外力がなす仕事に等しいとして(2)式を得る。一方、錘の運動エネルギーは(3)式である。

$$U_i = \frac{1}{2}ku^2 \quad \dots (2)$$

k : 剛性(kN/mm)
u : 位置エネルギー(J)
m : 錘の質量(kg)

$$U_D = \frac{1}{2}mV^2 \quad \dots (3)$$

V : 錘の衝突速度(m/s)
F : 荷重(kN)

エネルギー保存則 U_i=U_D より、梁の最大変位は(4)式で与えられ、最大荷重は F=ku の関係から(5)式として求まる。

$$u = V\sqrt{m/k} \quad \dots (4)$$

$$F = V\sqrt{mk} \quad \dots (5)$$

4. 実験結果(静的載荷実験)

Fig.7 に荷重-変位関係(静的載荷)を示す。静的載荷実験では、(S-H25:荷重 13.5kN, 変位 2.0mm S-H26:荷重 11.8kN, 変位 1.6mm)時に引張鉄筋が降伏した。

その後、コンクリートが圧壊、最大荷重(S-H25:20.4kN S-H26:20.2kN)に到達した。引張主筋降伏時の割線剛性は S-H25:6.6kN/mm S-H26:7.0kN/mm であった。なお、曲げ降伏時の剛性低下率を菅野式³⁾により求め、弾性剛性理論値との積として計算した曲げ降伏時の割線剛性は 5.8kN/mm であり、実験値の剛性に比べ小さな値となった。以降、理論値の計算に用いる初期剛性はこの計算値を用いる。

5. まとめ

本報(その 1)では RC 造部材の実験概要及び実験結果について示した。次報(その 2)では錘の衝突実験結果の詳細と既往の実験結果を含めた検討結果について示す。

6. 参考文献

- 1) 日本建築学会;2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報,2011.7
- 2) 石川信隆,大野友則,藤掛一典,別府万寿博;「基礎からの衝撃工学-構造物の衝撃設計の基礎」,2009.8
- 3) 日本建築学会 関東支部;「鉄筋コンクリート構造の設計 学びやすい構造設計」,P293-294,2002.1

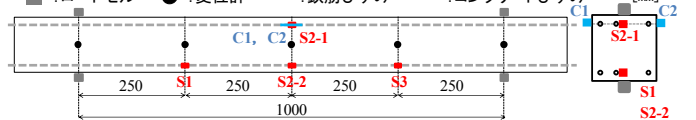
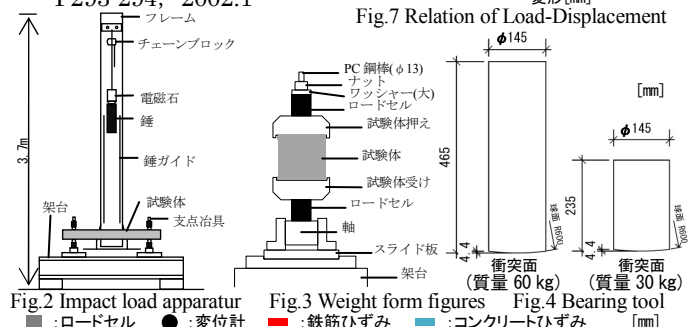
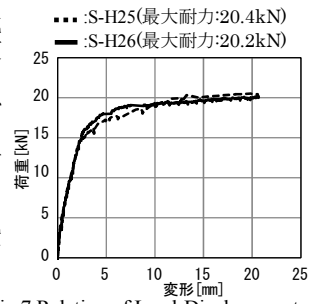


Table.5 Experimental parameters

RC部材				
試験体名	載荷方法	錘の質量 [kg]	錘の落下高さ [mm]	衝突速度 [m/s]
S-H25	静的載荷	-	-	-
S-H26		-	-	-
W30-V0. 5-H25	衝撃載荷	30	13	0.5
W30-V1. 0-H25			51	1.0
W30-V3. 0-H26			459	3.0
W30-V4. 0-H26			816	4.0
W30-V5. 0-H26			1276	5.0
W60-V0. 5-H25		60	13	0.5
W60-V1. 0-H25			51	1.0
W60-V3. 0-H25			459	3.0
W60-V4. 0-H26			816	4.0
W60-V5. 0-H26			1276	5.0

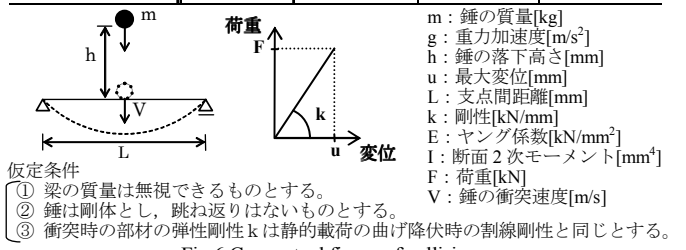


Fig.6 Conceptual figure of collision