

# 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

○柳田颯太郎<sup>1</sup>, 菅野裕識<sup>2</sup>, 石渡晶悟<sup>3</sup>, 北嶋圭二<sup>4</sup>, 中西三和<sup>4</sup>, 安達洋<sup>5</sup>  
Sotaro Yanagida<sup>1</sup>, Kanno Hironori<sup>2</sup>, Shogo Ishiwata<sup>3</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>4</sup>, Keji Kitajima<sup>4</sup>, Hiromi Adachi<sup>5</sup>

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

本論は、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ために行った2つのケースの錘の落下実験の報告である。ケース1の実験では、鉄骨梁を対象に弾性範囲内での衝突現象を明らかにする一方、ケース2の実験ではRC部材を対象に衝突荷重が作用した場合の破壊に至るまでの部材挙動を検証する。両実験とも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考慮していない。

#### 2. 試験体概要

##### 2.1 弾性梁部材 (ケース 1)

Fig.1 に試験体形状図を示す。試験体は、寸法(B×D×L)100×50×1300mmの溝形鋼(SS400)2本を図のようにボルトで固定している。

##### 2.2 RC 部材 (ケース 2)

Fig.2 に試験体形状及び配筋詳細図, Table.2 に構造諸元を示す。試験体は低層のRC造建物の1階隅柱を想定した実大柱に、相似則<sup>1)</sup>(Table.1)を適用した1/4縮尺模型であり、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き応力度を合わせる相似則を適用し、各物理量を設定した(Table.1)。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/mm<sup>2</sup>, 主筋 6-D6(SD295, P<sub>g</sub>=1.23%), せん断補強筋 2-D4@40(SD295, P<sub>w</sub>=0.56%)である。

Table.3, Table.4 にコンクリート及び鉄筋の材料試験結果を示す。コンクリートの材料試験は載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が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。降伏ひずみは弾性係数と降伏強度の関係から求めた。

#### 3. 実験装置概要

ケース1とケース2の実験では、静的載荷実験と錘の落下実験を行うが、実験装置は共通である。

1) 静的載荷装置: 静的載荷実験は50kNのオイルジャッキを用い、試験体を単純支持し1点集中の単調載荷実験を行った。

2) 衝撃載荷装置: Fig.3に衝撃載荷装置概要図, Fig.4に錘形状図, Fig.5に支点治具概要図を示す。衝撃載荷装置は、電磁石を取り付けたチェーンブロックで錘を

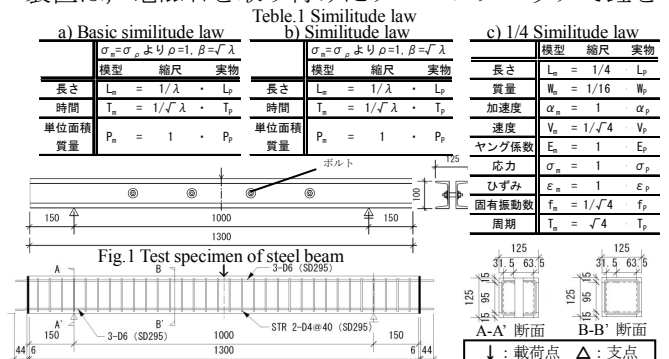


Table 1 Similarity law

a) Basic similitude law			b) Similitude law			c) 1/4 Similitude law		
$\sigma = \sigma_0$ より $\rho = 1, \beta = f \cdot \lambda$			$\sigma = \sigma_0$ より $\rho = 1, \beta = f \cdot \lambda$			$\sigma = \sigma_0$ より $\rho = 1, \beta = f \cdot \lambda$		
模型	縮尺	実物	模型	縮尺	実物	模型	縮尺	実物
長さ	$L_m = 1/\lambda \cdot L_p$		長さ	$L_m = 1/\lambda \cdot L_p$		長さ	$L_m = 1/4 \cdot L_p$	
時間	$T_m = 1/\sqrt{\lambda} \cdot T_p$		時間	$T_m = 1/\sqrt{\lambda} \cdot T_p$		質量	$W_m = 1/16 \cdot W_p$	
単位面積	$P_m = 1 \cdot P_p$		単位面積	$P_m = 1 \cdot P_p$		加速度	$\alpha_m = 1 \cdot \alpha_p$	
質量			質量			速度	$V_m = 1/4 \cdot V_p$	
						ヤング係数	$E_m = 1 \cdot E_p$	
						応力	$\sigma_m = 1 \cdot \sigma_p$	
						ひずみ	$\epsilon_m = 1 \cdot \epsilon_p$	
						固有振動数	$f_m = 1/\sqrt{4} \cdot f_p$	
						周期	$T_m = \sqrt{4} \cdot T_p$	

Table 2 Structural variables

寸法 b × D × L (L') [mm]	質量 [kg]	M/Q <sub>0</sub>	コンクリート設計基準強度 F <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	主筋	せん断補強筋	曲げ終局強度 Q <sub>mu</sub> <sup>+</sup> [kN]	せん断余裕度	剛性 k α <sub>v</sub> <sup>+</sup> [kN/mm]
125 × 125 × 1000 (1300)	49	4.5	21	6-D6 (SD295) P <sub>g</sub> =1.23[%]	2-D4 (SD295) P <sub>w</sub> =0.65[%]	13.1	1.5	5.8

Table 3 Material properties of concrete

寸法 [mm <sup>2</sup> ]	試験体名	材令 [日]	圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	ひずみ [μ]	初期弾性係数 [N/mm <sup>2</sup> ]	割裂強度 [N/mm <sup>2</sup> ]
φ 100 × 200	C-H25	26	18.3	1470	2.18 × 10 <sup>4</sup>	1.62
	C-H25	41	20.0	1638	3.08 × 10 <sup>4</sup>	2.57
	C-H26	35	26.2	1895	3.13 × 10 <sup>4</sup>	2.51
	C-H26	64	27.8	2175	2.79 × 10 <sup>4</sup>	2.83

Table 4 Material properties of reinforcement

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

1:日大理工・学部(4年)・海建 undergraduate,Nihon Univ.  
2:日大理工・院(前)・海建 Graduate Student,Nihon Univ.  
3:能勢建築構造研究所 修士(工学) Nose Structural Engineering Inc., M.Eng.

4:日大理工・教員・海建 Prof.Nihon Univ.Dr.Eng.  
5:日大理工・名誉教授 Emeritus Prof.Nihon Univ.Dr.Eng.

所定の高さまで吊り上げ、電磁石の電源を切ることで錘を切り離し、自由落下によって試験体に衝突させる方式を採用している。錘は、直径 145mm、高さ 465mm、質量 60kg のものを用意した。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。なお、ケース 2 の実験では質量 30kg の錘も準備した。試験体上部には錘の衝突面を保護するため、硬度 60 度、1mm 厚のゴムシートを設置した。なお、ゴムシートの有無による影響がないことは、事前に実施した予備実験で確認している。支点冶具は、試験体の跳ね上がりを防止するために、試験体のピン支承部分を PC 鋼棒で締め付ける構造となっている。また、スライド板に 0.2mm 厚のテフロンシートを設置し水平方向の動きを許容している。

4. 計測方法

静的載荷及び衝撃載荷実験における測定は、両ケースほぼ共通しており、載荷方法ごとに紹介する。

1) 静的載荷実験： 静的載荷実験では、荷重をオイルジャッキに取り付けたロードセルで、たわみの測定にはストローク式変位計で計測を行った。また、ケース 1 の実験では、弾性限を超えない荷重レベルであることを確認するために鋼製梁中央の下端フランジにひずみゲージを貼付した。ケース 2 の実験では、Fig.6 に示すように下端引張主筋と圧縮側主筋と同位置におけるコンクリート表面にひずみゲージを貼付し、ひずみの計測を行った。

2) 衝撃載荷実験： 衝撃載荷実験では、支点位置(試験体の上下位置)にロードセルを設置し、計測した支点反力の合計を衝突荷重とした。変位は支点及び荷重点にストローク式変位計を設置し計測を行った。ひずみの計測は、静的載荷実験と同様である。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 で行った。

5. 実験パラメータ

Table.5 に実験パラメータを示す。

5.1 弾性梁部材 (ケース 1)

試験体の部材性能を把握するための静的載荷実験と、衝突速度をパラメータとした錘の衝突実験を行った。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 ( $U_g=mgh$ ) と運動エネルギー (3 式) を等置した(1)式より算出する。

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

V : 錘の衝突速度(m/s)  
g : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)  
h : 錘の落下高さ(mm)

5.2 RC 部材 (ケース 2)

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。錘の質量は、小型船舶や小型自動車程度

の質量(1t)を想定し、Table.1(c)の質量に関する相似則(1/16)を適応した質量 60kg のものと、その半分の質量 30kg の 2 種類である。また、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.1(c)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。本実験ではケース 1 と同様錘を自由落下させるが、衝突速度は(1)式により算出した。

7. エネルギー保存則に基づく理論値算定法<sup>2)</sup>

Fig.7 に衝突現象概念図を示す。錘の衝突時における最大荷重と変位の理論値は、Fig.7 に示す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。

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

一方、錘の運動エネルギーは(3)式である。

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

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。

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

F : 荷重(kN) V : 錘の衝突速度(m/s)  
m : 錘の質量(kg) k : 剛性(kN/mm)

8. まとめ

以上、本報(その 1)では実験概要について示した。次報(その 2)では実験結果について示す。

【参考文献】  
次報(その 2)にまとめて記載する。

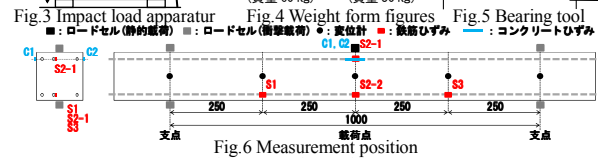
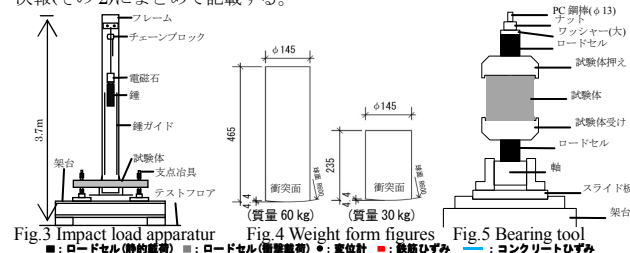


Table.5 Experimental parameters

載荷方法	錘の質量 [kg]	錘の落下高さ [mm]	衝突速度 [m/s]	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]	
静的載荷	-	-	-	S-H25 S-H26	静的載荷	-	-	-	
衝撃載荷	60	13	0.5	W30-V0.5-H23	衝撃載荷	30	13	0.5	
		51	1.0	W30-V1.0-H23			51	1.0	
		205	2.0	W30-V3.0-H23			459	3.0	
		319	2.5	W30-V4.0-H23			816	4.0	
衝撃載荷	60	13	0.5	W60-V0.5-H23	衝撃載荷	60	13	0.5	
		51	1.0	W60-V1.0-H23			51	1.0	
		205	2.0	W60-V3.0-H23			459	3.0	
		319	2.5	W60-V4.0-H23			816	4.0	
				W60-V5.0-H23				1276	5.0

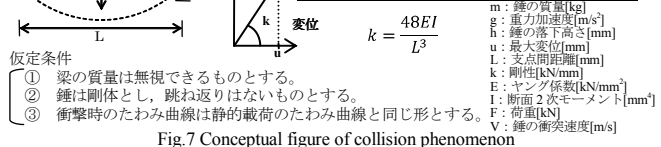


Fig.7 Conceptual figure of collision phenomenon