

# 打込み直後に地震動を受けたコンクリートの強度性状に関する実験

## Experiment on Compressive Strength of Concrete Vibrated by Earthquake Motion Immediately after Placing

梶山 毅\*1      住 学\*1  
Tsuyoshi Kajiyama      Manabu Sumi  
伊藤 真二\*1      芝池 達司\*2  
Shinji Ito      Tatsuji Shibaike

### 要旨

打込み直後に大きな地震動を受けたコンクリートの強度性状を把握することを目的として、実際に観測された地震波により構造体小型モデルを加震し、圧縮強度や鉄筋の付着強度に及ぼす影響について検討した。本実験の範囲では、強度レベルにかかわらず、凝結の始発前後に大きな地震動を受けると、圧縮強度は初期材齢でわずかに低下するが、長期では加震なしのコア 28 日強度を上回る結果となった。付着強度は加震による低下率は圧縮強度に比べ小さいが、その後の強度増進は小さい結果となった。

キーワード：打込み直後 地震動 コア供試体 強度性状 鉄筋 圧縮強度 付着強度

## 1. はじめに

気象庁統計資料<sup>1)</sup>によると、1990 年以降、震度 1 以上の地震は年平均約 2500 回、震度 5 弱以上の地震は年平均約 9 回発生している。また 2004 年には震度 5 弱以上の地震が 27 回発生している。図 1 に 1990 年以降の震度 5 弱以上の地震の発生回数を示す。この間、1993 年に兵庫県南部地震（マグニチュード（以後、M）7.3、最大震度 7）、2004 年には新潟県中越地震（M6.8、最大震度 7）、2005 年には福岡県西方沖地震（M7.0、最大震度 6 弱）、2007 年には能登半島地震（M6.9、最大震度 6 強）が発生し、M6 を超える大規模な地震が発生している。

このような状況の中で、コンクリートが打込み直後に大きな地震動を受けると、構造体コンクリートの強度性状に少なからず影響を及ぼすものと推測される。そこで、打込み直後に大きな地震動を受けたコンクリートの強度性状を把握することを目的として、実際に観測された地震動を構造体小型モデルに与え、コア供試体を採取し圧縮強度や鉄筋の付着強度に及ぼす影響について検討することとした。

なお、本報告は文献<sup>2)、3)</sup>を加筆修正したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 加震方法

加震装置には三次元振動台（3 次元 6 自由、3m×3m、最大

搭載重量 10tf）を使用した。加震波は南北方向の大きな横揺れが特徴の兵庫県南部地震の地震波（JMA 神戸波、最大加速度 818cm/s<sup>2</sup>）を用いた。加震地震波を図 2 に示す。

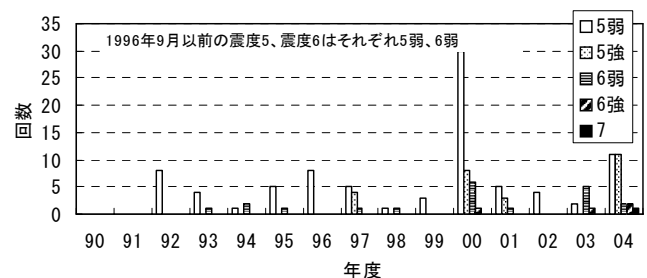


図 1 地震発生回数（1990～2004）<sup>1)</sup>

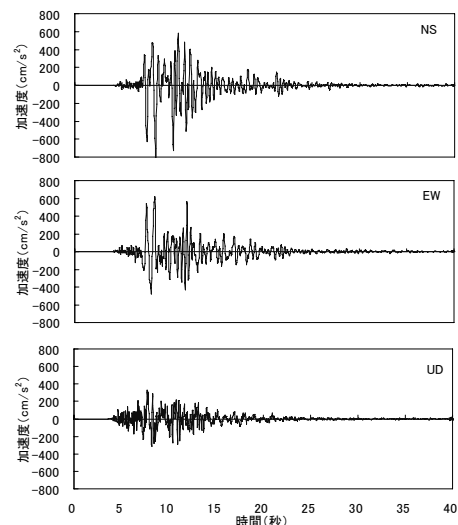


図 2 加震地震波（JMA 神戸波）

\*1 技術研究所 建築技術研究部門 \*2 大阪本店 建築部

2.2 実験シリーズ1

実験シリーズ1では、構造体コンクリートの圧縮強度および静弾性係数に及ぼす影響について、実験を行った。

2.2.1 加震材齢

加震材齢は事前に実施した凝結試験結果から、始発および終結時間を考慮し、練り上がり後1時間、3時間、6時間、9時間、12時間、24時間とした。実験水準を表1に示す。

2.2.2 コンクリート

実験に用いたコンクリートは、Fc27クラスの普通ポルトランドセメント使用の水セメント比55%の普通強度(以後、N55)およびFc60クラスの低熱ポルトランドセメント使用の水セメント比30%の高強度(以後、L30)の2種類とした。使用材料を表2に、調合を表3に示す。凝結試験結果を図3に示す。

2.2.3 構造体小型モデル(圧縮強度用)

構造体小型モデルの形状を図4に示す。構造体小型モデルの寸法は550×400×210mmで無筋とし、打込み面の上面はビニールで被覆した。試験体数は加震材齢(練り上がりからの経過時間)ごとに1体、計14体(W/C2水準×7加震材齢)作製し、加震時まで20±2℃、60±5%RHの室内で養生した。加震後も同様に養生した。コア供試体は図中に示す位置から各試験材齢(7, 28, 91日)で3本採取し、圧縮強度と静弾性係数(28, 91日)を測定した。

2.2.4 実験結果

各材齢の加震無しコア強度に対する強度比を図5に示す。加震無しコア強度に対する強度比は、N55およびL30とも材齢にかかわらず同様の傾向にあった。N55では凝結の始発に近い6時間後で加震した場合、強度比は0.9程度となった。一方、L30では始発以前の1時間および3時間の場合に強度比0.7~0.8となり顕著な強度低下を示し、始発以降に加震した場合においても強度低下が認められた。これは、L30のように流動性の持続時間が長い調合では、打込み直後のフレッシュな状態において、加速度を伴い大きく変位する地震動を受けると、骨材の移動による局所的な材料分離や空隙が生じるためと推測される。

加震無しのコア28日強度に対する強度比を図6に示す。打込み直後の加震により強度低下を示す場合もあるが、材齢91日の長期材齢ではいずれのケースでも加震無しのコア28日強度を上回り、それぞれ強度増進が認められた。

図7に静弾性係数の測定結果を示す。コア供試体の静弾性係数は、加震の有無にかかわらずNewRC式によく一致する結果となっている。

本実験の範囲では、コンクリートが打込み直後の若材齢時に本実験の加震波クラスの地震動を受けると、調合および加震材齢によっては強度低下を示す場合もあるが、その

表1 実験水準

コンクリートの種類	加震材齢(練り上がりからの経過時間)
普通強度(N55)	加震無し(0)、1、3、6、9、12、24
高強度(L30)	

表2 コンクリートの使用材料

材料	品 質
セメント	C: 普通ポルトランドセメント(N), 密度3.15g/cm <sup>3</sup> 低熱ポルトランドセメント(L), 密度3.22g/cm <sup>3</sup>
水	W: 上水道水
細骨材	S1: 陸砂, 鹿島産, 表乾密度2.61g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.52%, F.M.2.63 S2: 砕砂, 葛生産, 表乾密度2.67g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.48%, F.M.2.81 混合比率 S1:S2=70:30
粗骨材	G: 砕石2005, 岩瀬産, 表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.53% 実積率60.0%
混和剤	高性能AE減水剤, AE減水剤

表3 コンクリートの調合

調合	結合材種類	W/C (%)	SLまたはFL(cm)	空気量 (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	S1	S2	G	Ad
N55	N	55	18	4.5	47.0	175	318	587	252	954	C×0.8%
L30	L	30	60		46.7	165	550	532	228	875	C×1.15%

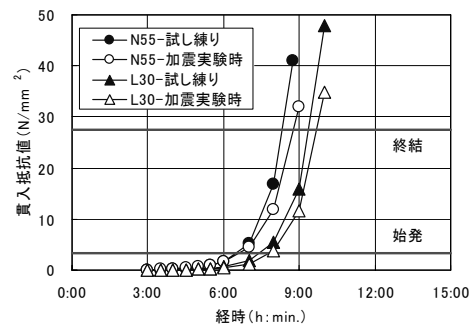


図3 凝結試験結果

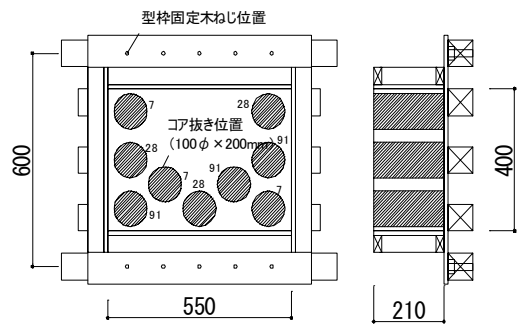


図4 構造体小型モデル

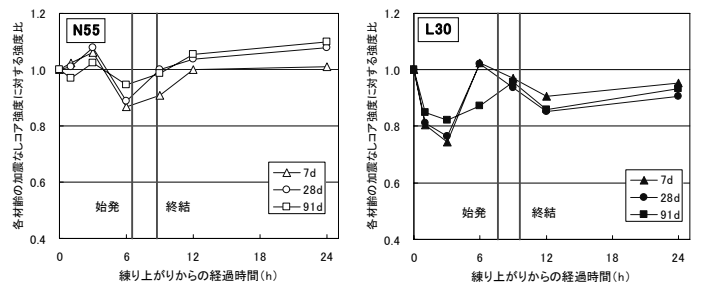


図5 各材齢の加震無しコア強度に対する強度比

後の強度増進により材齢 91 日では必要強度(相当  $F_c$ )が得られることが確認できた。

### 2.3 実験シリーズ 2

実験シリーズ 2 では、実験シリーズ 1 と同様に圧縮強度の把握に加え、構造体小型モデルに異形鉄筋を設置し、加震後に鉄筋を中心としてコア供試体を採取し付着強度試験を実施した。

#### 2.3.1 加震方法

加震波は実験シリーズ 1 と同様の兵庫県南部地震の地震波(JMA 神戸波、最大加速度  $818\text{cm/s}^2$ )とした。構造体小型モデルを振動台に固定し、設定経過時間ごとに 3 次元で加震した。なお、一部、原波(JMA 神戸波)の 1/2 スケール波についても実施した。

#### 2.3.2 実験水準

実験水準を表 4 に示す。加震材齢は始発および終結時間を考慮し、始発前として練り上がり後 5 時間、凝結中として 6~8 時間、終結後として 12 時間とした。コンクリートは  $F_c27$  クラスの普通強度(N55)、 $F_c60$  クラスの高強度(L30)の 2 種類とした。使用材料を表 5 に、調合を表 6 に示す。

#### 2.3.3 構造体小型モデル(付着強度用)

構造体小型モデルを図 8 に示す。寸法は  $850 \times 750 \times 210\text{mm}$  とした。縦筋用(横置き、コア垂直抜き)、横筋用(縦置き、コア水平抜き)の 2 種類を設定加震時間ごとに各 1 体、計 18 体作製し、加震時まで  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 5\%RH$  の室内で養生した。加震後も同様に養生した。

圧縮用コアは  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  とし、図中に示す位置から各材齢(28、91 日)で 3 本採取し、圧縮強度と静弾性係数を測定した。付着用コアは  $\phi 150 \times 200\text{mm}$  とし、同様に各材齢(28、91 日)で 3 本採取した。鉄筋は D13(SD295)とした。

#### 2.3.4 試験項目および試験方法

試験項目はフレッシュ性状(ブリーディング、凝結)、圧縮強度、静弾性係数、鉄筋の付着強度とした。鉄筋の付着強度試験は JCI および ASTM の標準方法に準拠した。鉄筋の付着長は 50mm とし、図 9 に示す装置(押し抜き方法)により、荷重と鉄筋の自由端すべり量を測定した。

#### 2.3.5 実験結果

ブリーディング量は N55 で  $0.089\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、L30 では  $0.003\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であった。

##### 1) 圧縮強度、静弾性係数

加震なしのコア 28 日強度に対する強度比を図 10 に示す。L30 の垂直コアの強度比は、実験シリーズ 1 とほぼ同様の傾向を示し、始発前(5h)で約 0.9 と低下したが、全体的に実験シリーズ 1 に比べ強度変化は小さく、いずれの供試体も材齢 91 日では強度が増進し、加震なしのコア 28 日強度

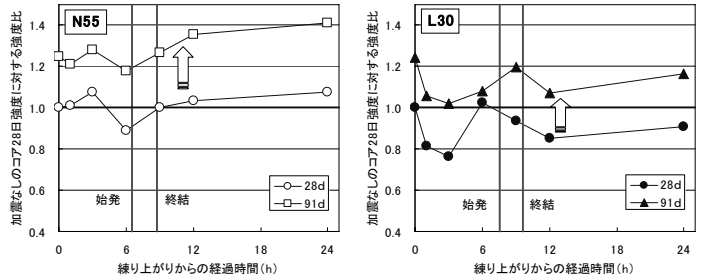


図 6 加震無しのコア 28 日強度に対する強度比

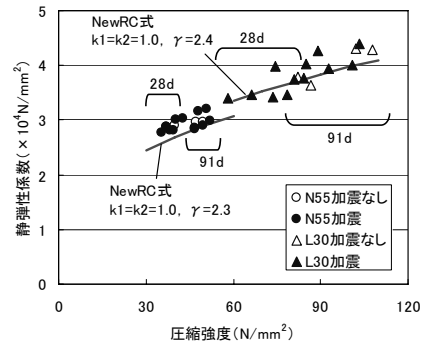


図 7 静弾性係数

表 4 実験水準

要因	水準
コンクリートの種類	普通強度(N55)、高強度(L30)
試験体形状	縦筋用(コア垂直抜き)、横筋用(コア水平抜き)
加震材齢	加震なし、始発前(5h)、凝結中(6~8h) 終結後(12h) 練り上がりからの経過時間
加震レベル	JMA神戸波、1/2スケールJMA神戸波

表 5 使用材料

材料	品 質
セメント	C:普通ポルトランドセメント(N), 密度 $3.16\text{g/cm}^3$ 低熱ポルトランドセメント(L), 密度 $3.22\text{g/cm}^3$
水	W:地下水
細骨材	S1:陸砂, 外浪逆浦産, 表乾密度 $2.60\text{g/cm}^3$ , 吸水率1.50%, F.M.2.37 S2:砕砂, 葛生産, 表乾密度 $2.67\text{g/cm}^3$ , 吸水率1.48%, F.M.3.13 混合比率(質量) S1:S2=70:30
粗骨材	G:碎石2005, 石岡産, 表乾密度 $2.67\text{g/cm}^3$ , 吸水率0.52% 実積率60.0%
混和剤	高性能AE減水剤, AE減水剤

表 6 コンクリートの調合

調査	結合材種類	W/C (%)	SLまたはFL(cm)	空気量 (%)	S/a (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )					
						W	C	S1	S2	G	Ad
N55	N	55	18	4.5	47.2	177	322	585	251	953	$C \times 1.06\%$
L30	L	30	60		47.7	165	550	541	232	865	$C \times 1.60\%$

に対して、1.02~1.40 の範囲となった。1/2 スケール波でも同様であり、加震レベルの差は本実験の範囲では認められなかった。横筋用壁状部材の水平コアの強度増進が大きいが、これは材齢 91 日コア供試体 2 本を試験体下部から採取したための圧密の影響も含まれるものと考えられる。

コア供試体の静弾性係数は、実験シリーズ 1 と同様に、加震の有無にかかわらず NewRC 式によく一致した。

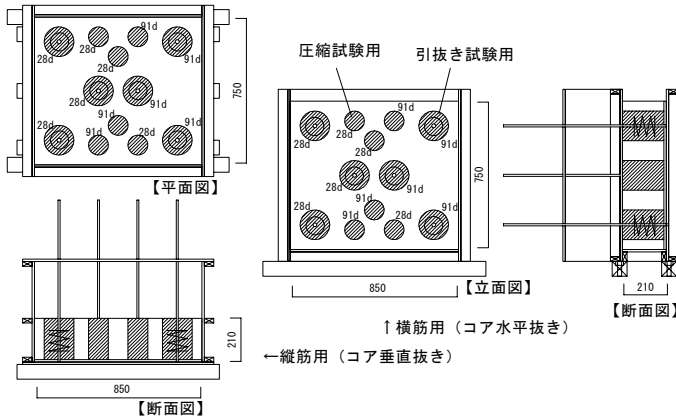


図8 構造体小型モデル(付着強度用)

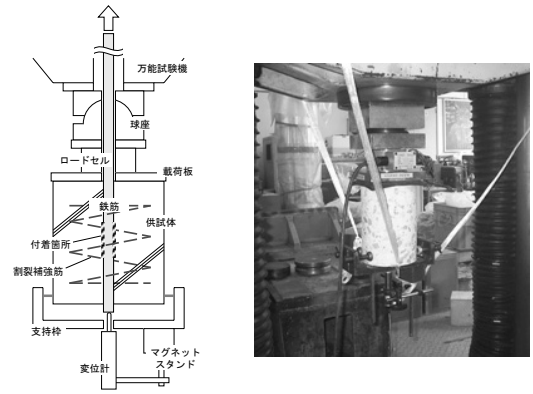


図9 付着強度試験装置

## 2) 付着強度

加震なしのコア 28 日付着強度 (N55 : 自由端すべり量 0.25mm 時、L30 : 0.075mm 時) に対する強度比を図 11 に示す。なお、設定すべり量が測定できなかった場合には前後の値から回帰して求めた。N55 では縦筋、横筋とも始発前～凝結中に加震した場合、強度比は 0.83～0.95 の範囲であった。L30 では縦筋の凝結前(5h)で 0.87 と低下が認められたが、全体的に N55 に比べ低下率は小さい結果であった。これは L30 ではブリーディング量が少なく、鉄筋周囲の空隙が生じにくいためと考えられる。また付着強度は材齢による増進が圧縮強度ほど顕著ではなかった。なお、いずれの場合も RC 規準の短期許容付着応力度(その他の鉄筋： $F_c/60+0.6$ ) $\times 1.5$ )を上回る結果となった。

## 3. まとめ

本実験の範囲では、強度レベルによらず凝結の始発前後に大きな地震動を受けた場合、圧縮強度は初期材齢ではわずかに低下するが、長期では加震なしのコア 28 日強度を上回る結果が得られた。

付着強度は材齢による増進は小さいが、圧縮強度に比べ低下率は小さい結果となった。今後、鉄筋の付着強度に関しては、データの蓄積を図るため、鋼製型枠による独立した供試体を作製し、比較検討する予定である。

### 参考文献

- 1) 気象庁データベース(2005年4月現在)
- 2) 梶山毅, 住学, 平弘毅: 打込み直後に地震動を受けたコンクリートの強度性状に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 571~572, 2005.9
- 3) 梶山毅, 住学, 芝池達司: 打込み直後に地震動を受けたコンクリートの強度性状に関する実験(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 313~314, 2007.8

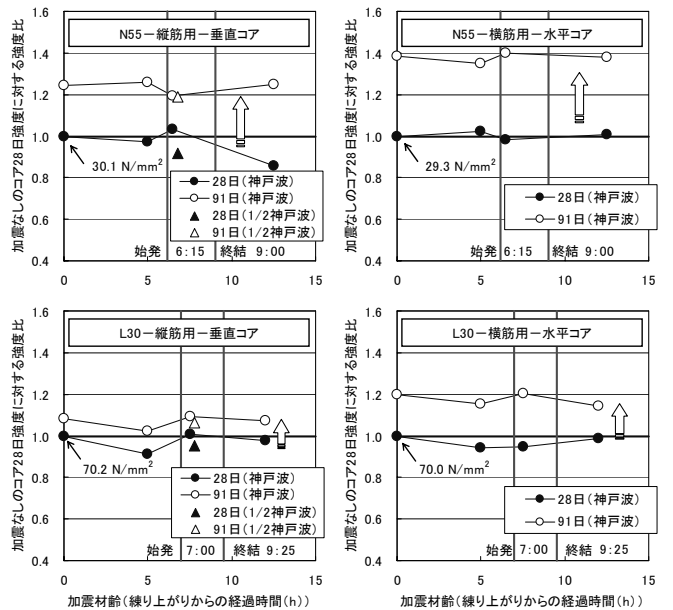


図10 加震無しのコア 28日強度に対する強度比

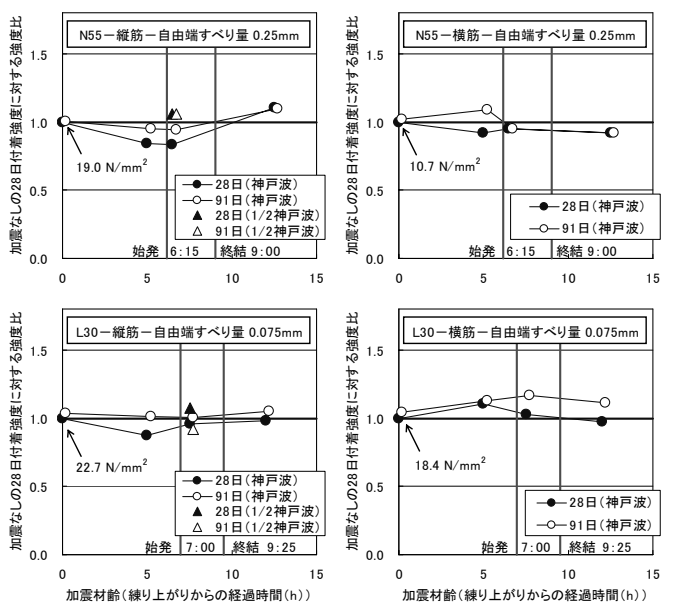


図11 加震無しのコア 28日付着強度に対する強度比