

I - 2

大型 RC 橋脚模型の横衝撃載荷実験

室蘭工業大学 正員 岸 徳光  
 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志  
 開発土木研究所 正員 谷本 俊充  
 室蘭工業大学 学生員 亀石 暁

1. はじめに

今年一月の阪神・淡路大震災以来、コンクリート構造物の耐震性に大きな注目が集められている。特に、旧基準や指針に従って製作された橋脚の中には、主筋の断落とし部分の定着長が足りないため、その部分が欠点となって曲げ・せん断破壊しやすいことが指摘されている。従来、橋脚の耐震性を検討するための模型実験としては、模型橋脚天端に上部工の死荷重を模擬した重りまたは荷重を載荷した状態で水平交番加力実験を行い、最大塑性率やエネルギー吸収性能を検討するのが一般的である。しかし、今回の阪神・淡路大地震は、従来の海洋型地震と異なる直下型地震であったため、地震波の主波動が急激に卓越する衝撃的な荷重作用を示しているのが特徴的である。

そこで本研究では、5 tf の重錘を振り子式で死荷重部分に作用させて橋脚模型の耐衝撃性状（耐震性状）を検討した。ただし、地震波は下部構造から橋脚に伝播するのに対して、本実験では上部から強制的に早い速度で橋脚を変形させた点に違いがある。この際、橋脚の断面寸法比が耐衝撃挙動に与える影響を検討するため、断面寸法比は 1 : 1、1 : 2、1 : 4、2 : 1 の 4 種類とした。また、耐衝撃性に与える寸法効果については未解明な部分が多いため、できる限り大きな試験体を用いて実験を行った。

2. 実験の概要

試験体は表-1 に示す断面寸法比が異なる 4 体である。なお、比較検討を可能にするため、衝撃荷重作用方向の断面 2 次モーメントをできるだけ合わせた。ただし、1 : 4 試験体の場合は、実験の制約上、他の試験体の約 25 % の断面 2 次モーメントとした。試験体は静的荷重に対して曲げ破壊が先行する。断面分割法で

表-1 試験体一覧

試験体の名称	断面寸法 (mm)	断面 2 次モーメント (cm <sup>4</sup> )	鉄筋比 (%)	静的曲げ耐力 (tf)	載荷速度 (m/sec)
N-1:1	400 × 400	213,333	1.90	7.4	1,2,3
N-1:2	330 × 660	197,654	1.86	7.9	1,2,3
N-1:4	200 × 800	53,333	1.90	3.4	1,2,3
N-2:1	480 × 240	221,184	1.98	8.1	1,2,3,4

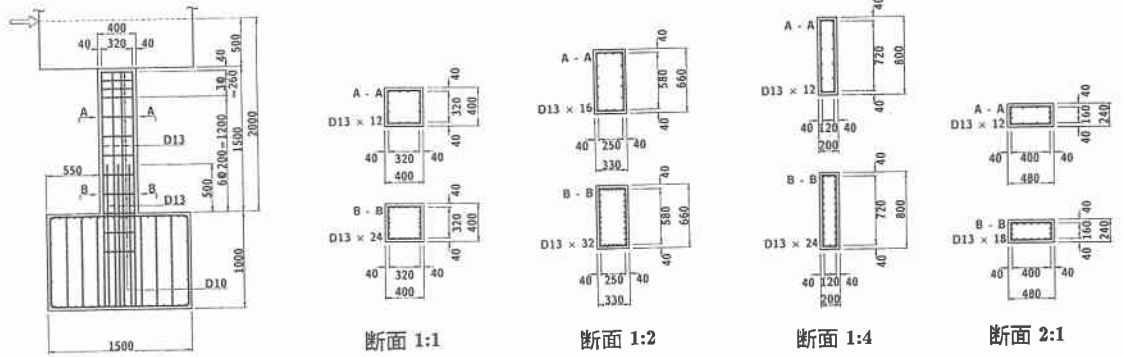


図-1 試験体の形状寸法および配筋

(mm)

Lateral Impact Tests on Large Scale RC Pier Model  
 by Norimitsu KISHI, Masashi SATO, Toshimitsu TANIMOTO, Akira KAMEISHI

求めた静的曲げ耐力を表中に示した。

試験体の形状寸法と配筋を図-1に示す。試験体はいずれも橋脚高さの1/3(50cm)の位置で断落としを行っている。使用した鉄筋の材質は全てSD295Aである。用いたコンクリートは設計基準強度が240kgf/cm<sup>2</sup>で、実験時の材令における平均圧縮強度は266kgf/cm<sup>2</sup>である。

図-2に実験概要および計測位置を示す。橋脚模型頭部には鉛製の重り(20tf)を死荷重として設置した。これによる圧縮応力はN-1:1で12.5kgf/cm<sup>2</sup>である。また、衝撃載荷時に重りのロッキング等によって橋脚模型頭部が損傷することがない様に橋脚模型頭部は十分な補強を行っている。

衝撃荷重の載荷は直径が100cmで重量が5tfの重錘を所定の高さにセットした後振り子式で重りの重心に横方向から作用させた。なお、本実験では重錘衝撃力計測用のロードセルを開発して重りの受圧部に取り付けた。またロードセルの前面には板ゴムを積層し、橋脚頭部の応答変位の振動数が実際の地震時の橋脚振動数としてしばしば出現する1~2Hz程度とほぼ一致するように積層厚や硬さを調整した。本実験での測定項目は、重錘に取り付けた容量1000Gの加速度計(3個)と重りの重心位置および橋脚の天端付近に取り付けた容量5Gの加速度計(各1個)による加速度応答とロードセル合力ならびに非接触式変位計(レーザ式変位計)で測定した橋脚の変位である。また、実験終了時にはひびわれをスケッチし、ひびわれ及び破壊性状を検討した。

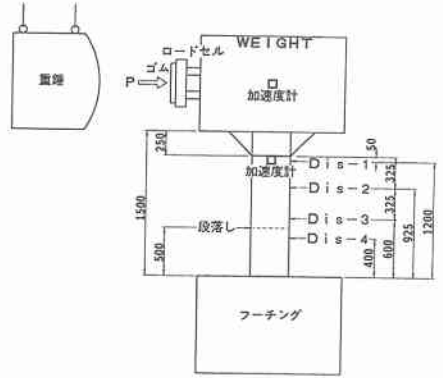


図-2 実験の概要 (mm)

### 3. 実験結果

#### 3.1 重錘衝撃力、ロードセル合力、重りの衝撃力の関係

図-3にV=2m/sec 載荷における重錘および重りに取り付けられた加速度計の応答波形ならびにロードセル合力の波形を示す。これより、重錘の加速度およびロードセル合力の応答波形形状は極めて良く合致していることが分かる。両者は、荷重の載荷とともに波形が立ち上がり、ピークを迎えた後に急速に減少する三角形状を示している。波形が立ち

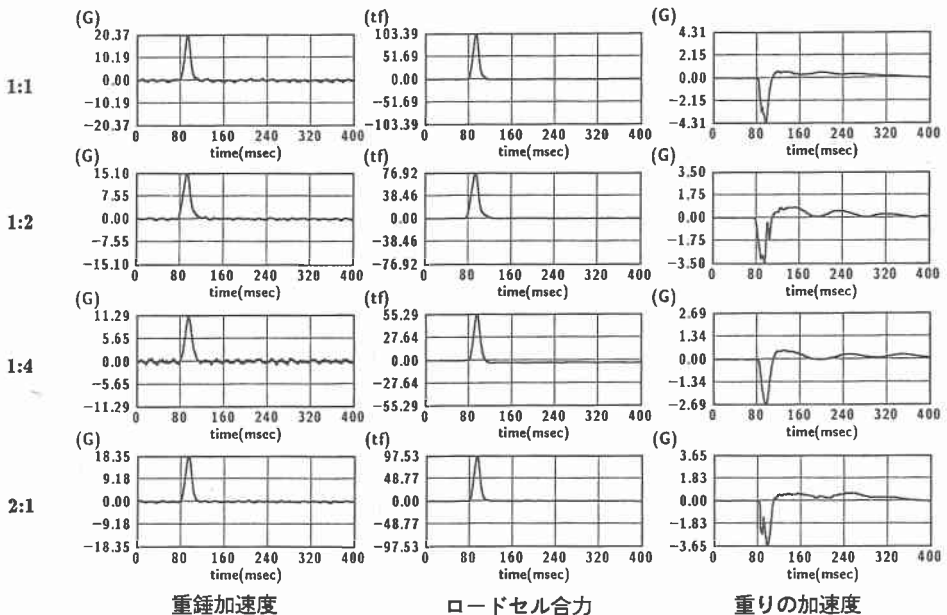


図-3 重錘加速度、ロードセル合力、重りの加速度の波形の例

上がり 0 になるまでの継続時間は全て 30 ~ 40 msec である。一方、重りの重心に取り付けた加速度計の応答波形は、一部で加速度の急激な増減がみられるものの概ね重錘加速度、ロードセル合力と同様な三角形形状を示し、波形の継続時間もほぼ同等である。

図-4 に各載荷速度における重錘衝撃力とロードセル合力ならびに重りの衝撃力を全試験体について示した。重錘衝撃力は重錘に取り付けた加速度計の最大加速度に重錘質量 (5tf) を乗じて、重りの衝撃力は、重りに取り付けた加速度計の最大加速度に重りの質量 (20tf) を乗じて求めた。また、ロードセル合力とは、4 つのロードセルの波形を総和して得られた最大の合力である。

重錘衝撃力は 1:1 及び 2:1 試験体で、載荷速度に比例してほぼ直線的に増加している。一方、1:2 試験体では、全載荷速度で 1:1 及び 2:1 試験体よりも小さな重錘衝撃力を示している。特に  $V = 2$  m/sec での衝撃力が小さい。1:4 試験体は、橋脚の曲げ剛性 ( $E \cdot I$ ) が小さいために  $V = 1 \sim 2$  m/sec 載荷における重錘衝撃力が小さいが、 $V = 3$  m/sec では最も大きくなっている。

ロードセル合力と載荷速度の関係は、重錘衝撃力と載荷速度の関係にほぼ 一対一で対応している。一方、重りの衝撃力は  $V = 1$  m/sec 載荷では、重錘衝撃力やロードセル合力に比べて若干大きい、 $V = 2$  m/sec 載荷以後では両者に比べて若干小さく示されている。これは、 $V = 2$  m/sec 載荷以後に重りの取り付け部に多少のひびわれが発生して、若干のエネルギーが吸収されていることを示すものと考えられる。

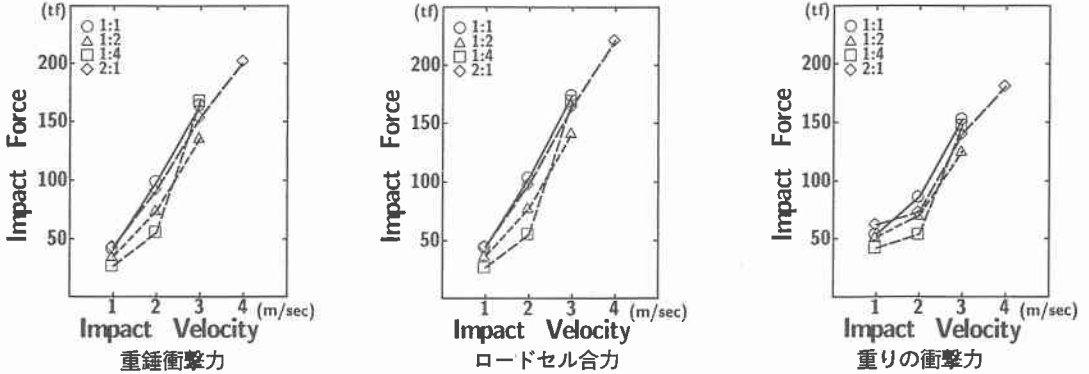


図-4 重錘衝撃力、ロードセル合力、重りの衝撃力の関係

### 3.2 衝撃荷重と変位の関係

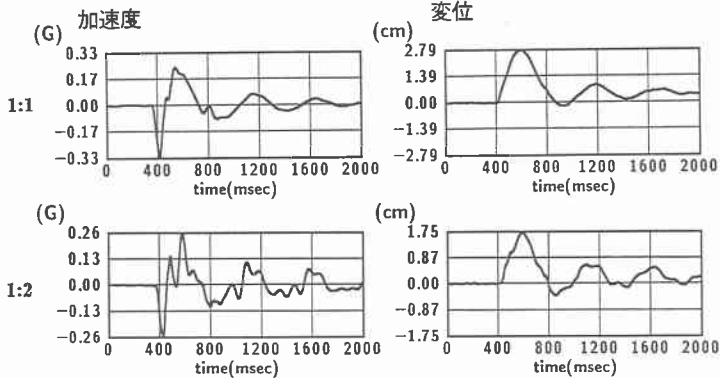


図-5 加速度計と変位計による応答波形

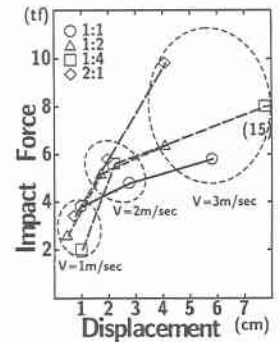


図-6 衝撃荷重と最大応答変位の関係

図-5 に、橋脚の天端に取り付けた加速度計の応答波形と最上段の変位計による応答変位波形の一例を示す。試験体の寸法比は 1:1 及び 1:2 で、 $V = 2$  m/sec 載荷における波形を示した。なお、加速度波形には衝撃載荷初期において

特に高周波成分が卓越するためフィルターによって処理を行った。その結果、加速度と変位の応答波形の周期はよく一致していることが分かった。そこで、最大加速度に質量 20 tf を乗じた力を衝撃荷重  $F$  と定義し、最大応答変位量との関係を図-6 に示した。

$V = 1$  m/sec 載荷では、1:4 試験体に生じた衝撃荷重が最も小さいにも関わらず変位量は最も大きい。 $V = 2$  m/sec 載荷では、1:1 試験体で衝撃荷重が小さいものの変位量は最も大きい。一方、 $V = 3$  m/sec 載荷では 2:1 試験体の衝撃荷重が最も大きい、1:4 試験体ではそれよりも小さな衝撃荷重で計測範囲以上の変位量を示している。後述する応答変位分布やひびわれ性状より、せん断の変形が大きく卓越する載荷速度において大きな衝撃荷重を示すものと考えられる。また、静的な荷重に対しては、荷重方向に偏平な試験体の方がせん断耐力が大きく、2:1 の場合に最も小さい。すなわち、衝撃荷重は曲げのモードが卓越する場合 (1:1、1:2、1:4) には載荷速度が増大しても顕著には増加せず、一方で変形量は大きく増加する。他方、2:1 試験体のようにせん断モードが卓越しやすい場合には、衝撃荷重が大きく増加する一方で変形量は比較的小さくなると考えられる。

### 3.3 応答変位分布及び残留変位分布

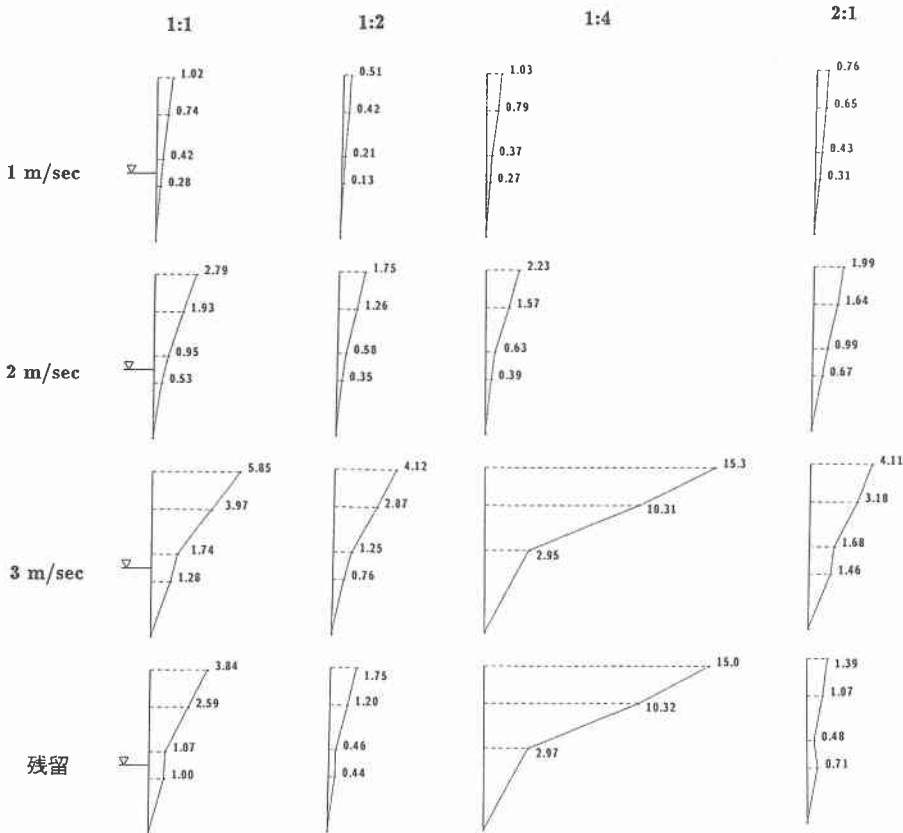


図-7 応答変位分布および残留変位分布

図-7 に全試験体の各載荷速度における応答変位分布 ( 最上段の変位が最大となった経過時間における全測点の変位 ) ならびに  $V = 3$  m/sec で載荷した後の残留変位分布を示す。 $V = 1$  m/sec 載荷では、最も剛性の低い 1:4 ですでに段落としを境として変位曲率が大きく変化していることが分かる。他は概ね直線的な変位分布を示しているが、1:1 試験体の応答変位量が 1:2 に比べて 2 倍程度大きく出現している。 $V = 2$  m/sec では、段落とし部を境とした変位曲率の急激な変化が 1:1、1:2 試験体でもみられるようになるが、2:1 試験体はほぼ直線的な変位分布を示している。

そのため、段落とし部分での変位量は 2:1 が最も大きく、最も小さな 1:2 試験体の 2 倍程度を示している。橋脚頭部の変形量に着目すると、1:2 が最も小さく、次が 2:1 であり、1:1 試験体が 1:4 よりも大きく最大となっている。

$V = 3 \text{ m/sec}$  では、1:4 試験体のみが壊滅的な破壊を示し極めて大きな応答変位及び残留変位を示した。1:4 試験体の破壊は極めて急激であり、衝撃的荷重作用に対しては幅の広い橋脚は十分な注意が必要と思われる。これは、1:4 では断面の厚さが薄く、変形の増加によって死荷重による曲げモーメントがさらに変形を助長するためと推察される。一方、2:1 の試験体では段落とし部分の応答変位にせん断変形が含まれていることが分かる。そのため、1:4 を除く試験体の中で最も段落とし下側の応答変位が大きい。一方、 $V = 3 \text{ m/sec}$  載荷後の残留変位分布を比較すると、橋脚天端の残留変位は 2:1 試験体が最も小さい。しかし、段落とし下側の残留変位が上側の変位よりも大きく、主として段落とし部のせん断抵抗で衝撃力に対抗しているため橋脚天端の変形量が少なくなったものと考えられる。なお、1:1、1:2 試験体でも、段落とし部分に明瞭なせん断による変形の残留が認められる。以上のことから、総合的に判断すると同程度の剛性を有する橋脚模型であれば、顕著なせん断モードの卓越や急激な破壊を示さない点では 1:1 あるいは 1:2 が断面寸法比的には優れていると思われる。

### 3.4 ひびわれ性状

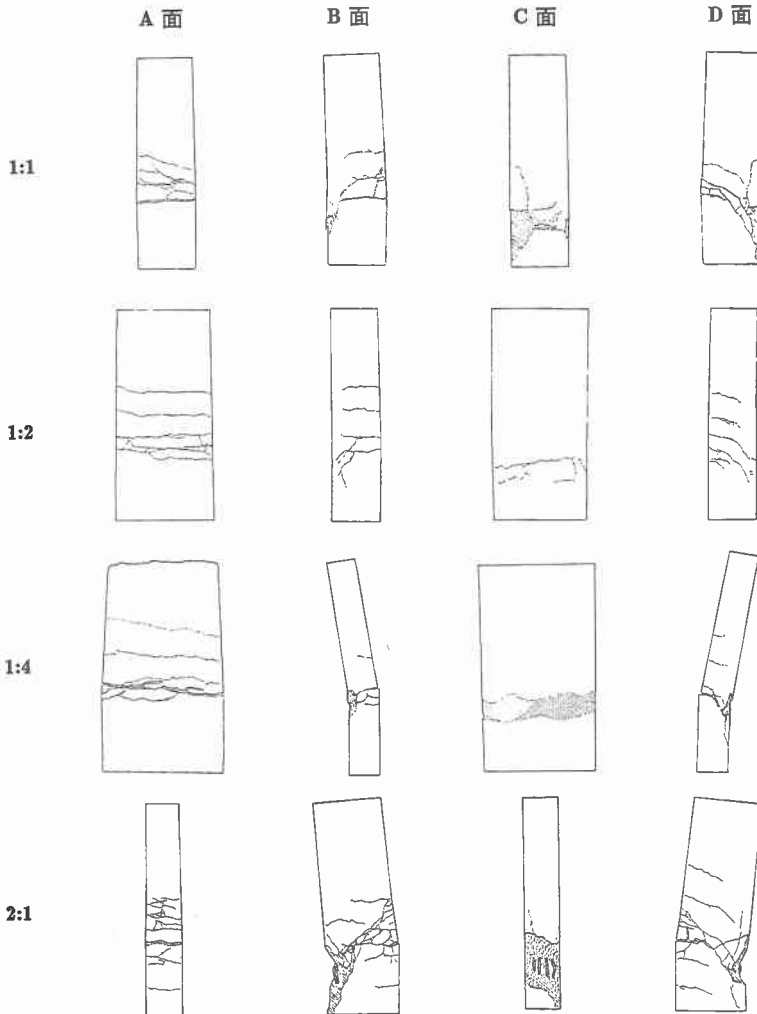


図-8 ひびわれ性状

図-8 に全試験体の実験終了後のひびわれ性状を示す。なお、2:1 と他の試験体で最終載荷速度が異なるために全てを同一の尺度で比較することはできない。ここでは、ひびわれの傾向に着目して検討する。

1:1 試験体では、A 面の段落としとそれより上側に 1B ( B : 試験体の幅 ) の範囲内に水平方向に進展する曲げひびわれが発生し、それらは B、D 面の断面の中心から斜め下方に進展して、いわゆる曲げ・せん断型の破壊性状を示している。また、圧縮側では一部のコンクリートが剥落している。

1:2 試験体では、加力側の段落とし部とその上側 1B ( B : 試験体の幅 ) に水平方向の曲げひびわれが発生し、段落としに近い部分の曲げひびわれは B、D 面の断面の中心あたりから斜め下方に進展している。しかし、1:1 にみられる様な圧縮側コンクリートの剥落はみられない。1:1 に比べてまだ壊滅的な破壊に至っていない状況であると考えられる。1:4 試験体も A 面の段落とし部とその上側 1B の範囲に水平方向の曲げひびわれが発生し、B、D 面ではこれらのひびわれのうち段落とし近くのもの斜め方向に進展している。段落とし部の圧縮側は幅方向に広く圧壊の性状がみられる。

2:1 試験体では、加力側の段落としをはさんだ上、下方向の 1B の範囲に水平方向の曲げひびわれが多数発生し、側面には段落としよりかなり上方の位置からほぼ 45° に進展する斜めひびわれが顕著に発生している。特に圧縮側のコンクリートは段落としから基部近くまで広い範囲で圧壊している。ただし、基部の圧縮側には健全な部分も多くみられ、基部の圧壊ではない。

#### 4. まとめ

衝撃的荷重作用下における橋脚の耐衝撃性 ( 耐震性 ) を検討するため、段落としを有する比較的大きな橋脚模型を製作して横衝撃載荷試験を行った。試験体は断面寸法比を変化させて製作し、主として断面寸法比の耐衝撃性に与える影響に着目して検討した。本実験の範囲内で得られた結論を要約すると、

- (1) 重錘衝撃力とロードセル合力の載荷速度との関係はほぼ一対一に対応している。
- (2) 衝撃荷重は曲げのモードが卓越する場合には載荷速度が増大しても顕著には増加しない。一方、せん断モードが卓越する載荷速度や試験体では大きな衝撃荷重が発生する。
- (3) 幅の広い橋脚は載荷速度の若干の増加で急激な破壊を示しやすい。また、横幅の狭い試験体はせん断のモードが卓越しやすく、1:1 あるいは 1:2 程度が断面寸法比的には優れている。

最後に、本研究を行うにあたり御支援を頂いた室蘭工業大学建設システム工学科の松岡健一教授ならびに三井建設 ( 株 ) 技術研究所の三上浩主任研究員に感謝の意を表します。