

放射性廃棄物を保管対象とした鉄筋コンクリート製容器の落下抵抗性

Drop impact resistance of RC container for enclosing radioactive waste

多田克彦[†], 河野克哉^{*}, 東洋輔^{**}, 小室雅人^{***}, 栗橋祐介^{****}, 川瀬良司^{*****}

Katsuhiko Tada, Katsuya Kono, Yosuke Azuma, Masato Komuro, Yusuke Kurihashi, and Ryoji Kawase

[†]太平洋セメント (株), 第2研究部 TBC チーム, リーダー (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)^{*}博 (工), 太平洋セメント (株), 第2研究部 TBC チーム, 主任研究員 (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)^{**}太平洋セメント (株), 第2研究部 TBC チーム (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)^{***}博 (工), 室蘭工業大学大学院, 准教授 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)^{****}博 (工), 室蘭工業大学大学院, 講師 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)^{*****}博 (工), (株) 構研エンジニアリング, 常務取締役 (〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1)

In this paper, in order to develop the impact-resistant RC container for enclosing radioactive waste, drop impact tests of two kinds of RC containers were conducted assuming the accident of RC container dropping from the luggage carrier of truck. One RC container (type I) was designed concerning load bearing capacity, barrier properties against radiation, various durabilities, and so on. The other (type II) was improved based on the results of three dimensional elasto-plastic impact response analysis. Drop impact resistances were evaluated observing leak of the content and damage of RC container by using high speed camera. From the results of drop impact tests, it was confirmed that improved RC container can completely restrain the leak of content, and severe damage of container could not be observed at all.

Key Words : drop impact resistance, RC container, radioactive waste

キーワード : 落下抵抗性, RC 製容器, 放射性廃棄物

1. はじめに

東日本大震災により生じた放射性物質に汚染された廃棄物, 土壌など (以下, 放射性廃棄物と記す) を安全に運搬・保管する目的で, 各社・各団体から様々な仕様の鉄筋コンクリート (RC) 製容器が提案されている (写真-1 参照)^{1), 2)}. これらの容器においては, 放射性廃棄物の漏洩防止は勿論のこと, 放射線の遮蔽も目的としている場合が多い. 著者らも迅速な震災復興に貢献することを目的に, この種の RC 製容器を開発し, 多種多様な要求性能に応えるべく改良を重ねているところである.

RC 製容器の要求性能としては, 遮蔽性, 耐久性および安全性が挙げられる. 特に, 安全性に関しては, 輸送時における荷台からの落下に対する抵抗性も考慮しなければならない. 文部科学省では, 「放射性同位元素等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告知」において, 容器の落下試験を行い内容物の漏洩がないことを検証することを定めている³⁾.



写真-1 放射性廃棄物を格納する RC 製容器

しかしながら, このことを実証実験等により評価検討した事例は報告されていないのが現状である. 放射性廃棄物を格納し安全に目的地まで運搬するためには, 万が一容器が運搬中に荷台等から落下した場合においても内容物の漏洩が生じないように落下抵抗性を有する RC 製容器を開発し供給する必要があるものと考えられる.

[†] 連絡著者 / Corresponding author

E-mail: Katsuhiko.Tada@taiheiyo-cement.co.jp

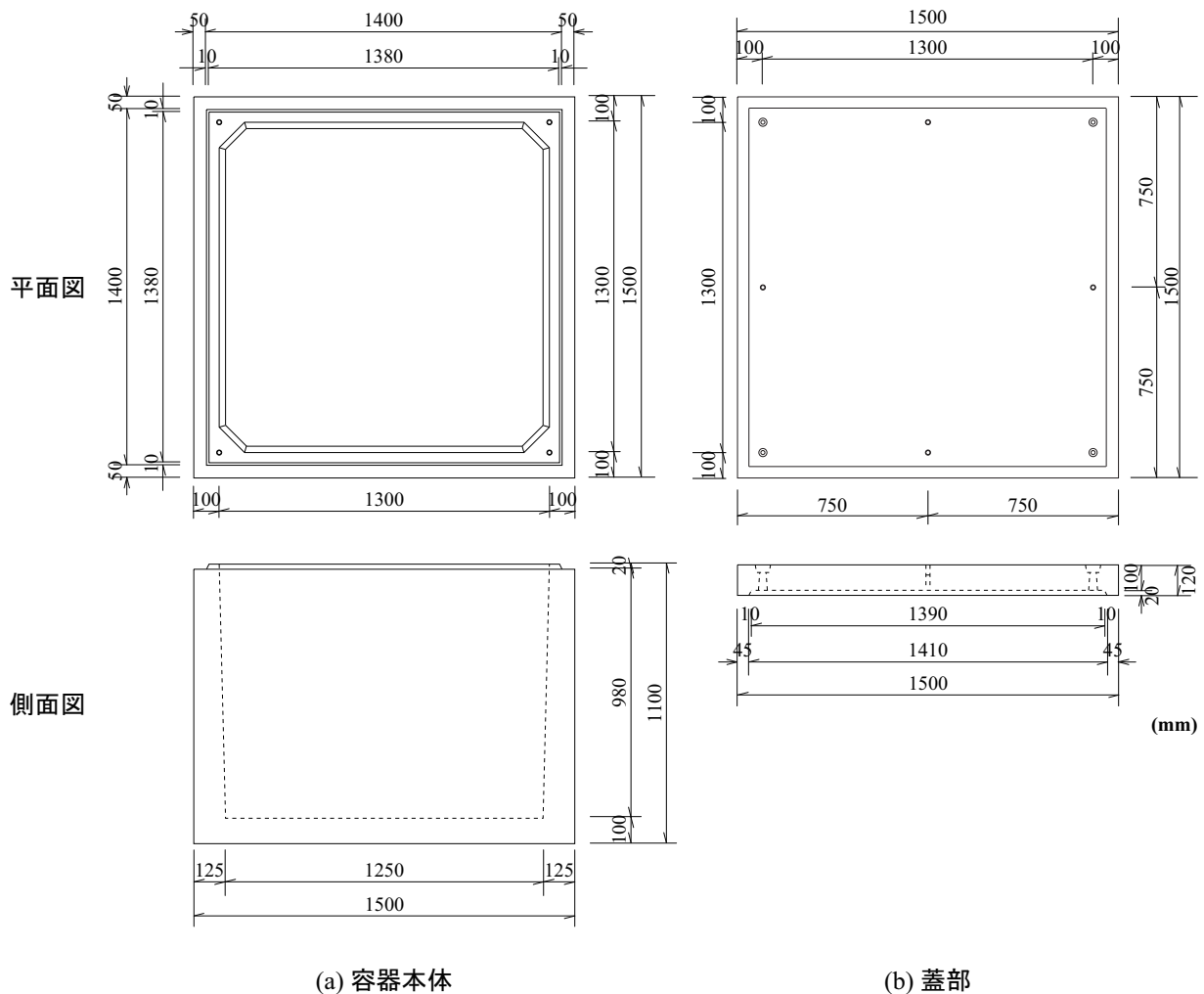


図-1 容器の形状寸法

このような背景より、本研究では、所要の落下抵抗性を有する RC 製容器の開発を目的に、3次元弾塑性衝撃応答解析 (FEM) を行い、落下後においても内容物が漏洩しないことを目指し、耐衝撃仕様 RC 製容器を提案した。また、トラックの荷台からの落下を模擬した落下実験を行い、RC 製容器の耐衝撃性能を検証した。実験は、放射性廃棄物の焼却灰を模擬した粉体を格納した 2 種類 (タイプ I、II) の RC 製容器について実施した。

タイプ I の構造設計は、日本道路協会による「道路土工—カルバート工指針」⁴⁾ に準拠して行った。また、環境省の「告示第 15 号 平成 25 年 2 月 28 日特別措置法施行規則第 26 条第 1 項第 1 号二」において、一軸圧縮強度が 25 N/mm^2 以上で、水密性を有する鉄筋コンクリートで造られ、かつその厚さが 35 cm 以上であること又はこれと同等以上の遮断の効力を有することが定められている⁵⁾。そのため、タイプ I は 35 cm 厚で一軸圧縮強度 25 N/mm^2 のコンクリートと同程度の水密性を確保し (強度 40 N/mm^2 、厚さ 10 cm)⁶⁾、かつ遮蔽性 (遮蔽率 80 % 程度) や耐久性等の性能も考慮して設計・製作した。

一方、タイプ II は、タイプ I に対して 3 次元 FEM に

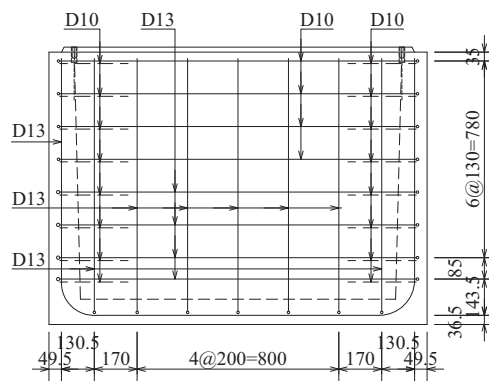
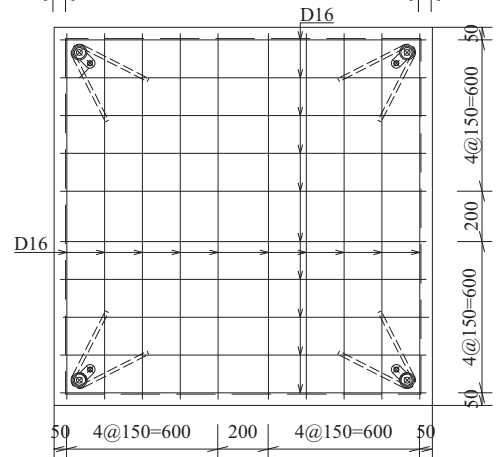
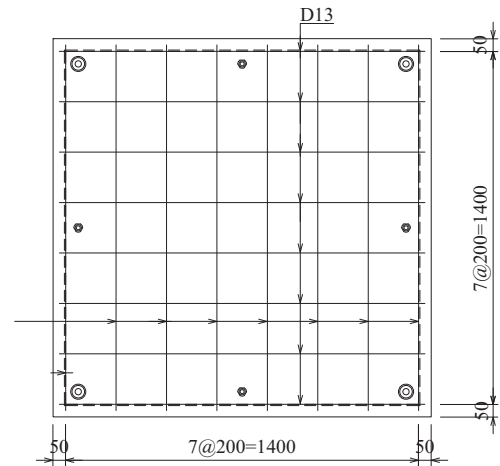
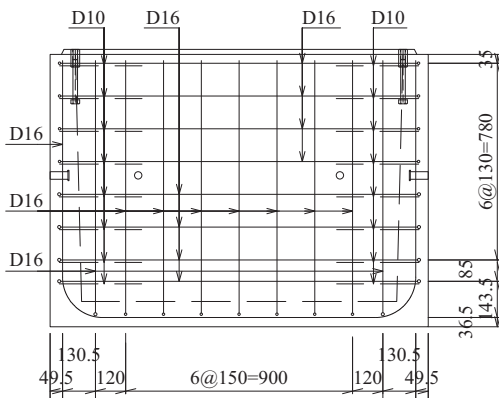
よる衝撃応答解析 (以後、事前解析) を行い、その結果に基づいて内容物の漏洩が生じないように配筋および蓋部—本体の締結ボルトの仕様を変更した容器である。各容器の落下抵抗性については、落下実験時における内容物の漏洩状況や容器の損傷状況などに着目して高速度カメラを用いて評価した。

2. 事前解析に基づく落下抵抗性改善策の検討

本研究では、タイプ I の RC 製容器の落下抵抗性を評価し、耐衝撃仕様の容器 (タイプ II) を開発することを目的に、3次元 FEM による衝撃応答解析を行った。ここで、タイプ II の容器に求められる性能は落下した場合においても内容物が漏洩しないことである。

また、事前解析は RC 製容器を 45° に傾けた状態で落下させる条件下において実施した。これは、数値解析の場合には、トラック荷台からの落下のように回転落下する場合における RC 製容器の挙動を精度良く再現することは、困難なためである。なぜなら、回転落下の場合には、衝突時における角速度・鉛直速度、衝突部の損傷・

(a) タイプ I

(b) タイプ II
(耐衝撃仕様)

(mm)

(a) 容器本体側面図

(b) 蓋部平面図

図－2 容器の配筋状況

表－1 タイプ I およびタイプ II 容器の仕様比較一覧

鉄筋	呼び径	タイプ I	タイプ II (耐衝撃仕様)
	配置間隔	85 ～ 200 mm	85 ～ 150 mm
締結ボルト	呼び径	M16	M20

表－2 材料物性値

材料	密度 ρ (t/m ³)	圧縮/引張強度 (MPa)	降伏応力 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
コンクリート	2.35	40/4.0	-	20.0	0.167
鉄筋 (D10)	7.85	-	295	206	0.3
鉄筋 (D13)	7.85	-	295	206	0.3
内容物	#	-	-	0.001	0.45

質量が 1.2 ton となるように密度を調整

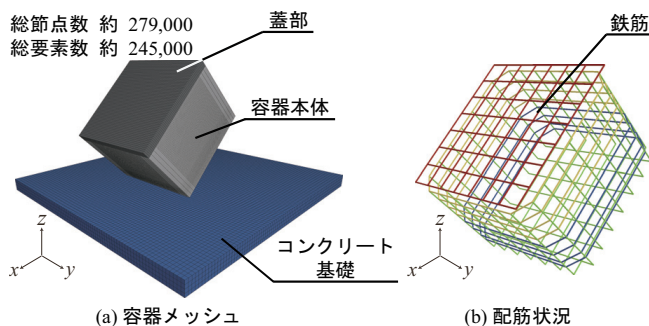
摩擦および内容物の移動などの複雑な挙動を適切に評価し設定する必要があるためである。

一方、RC 製容器を任意の角度に傾けて鉛直方向に落下させる解析は簡便である。そのため、本研究では、後述の数値解析手法により任意の角度で鉛直方向に落下させる予備解析を多数実施し、RC 製容器の損傷が最も顕著であった 45°に傾けた場合の数値解析結果に基づいて耐衝撃仕様の RC 製容器を開発することとした。なお、

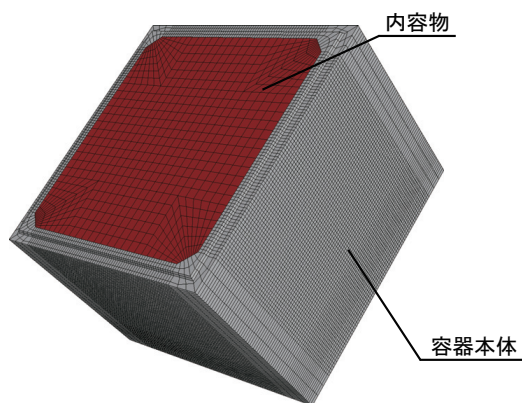
落下高さは、前述の文部科学省の告示³⁾における「1.2メートルの高さから、最大の破損を及ぼすように落下させること」の記述に基づき、1.2 m とした。

2.1 試験体の概要

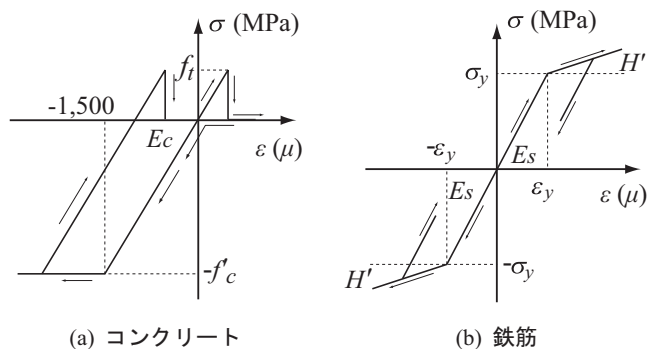
図－1 には、格納容器の形状寸法を示している。容器の外寸は、平面寸法 1.5 m 四方、高さ（蓋部を含む）1.2 m である。容器の厚さは、蓋部、側面および底面におい



図－3 要素分割状況



図－4 RC 製容器に関する解析モデル

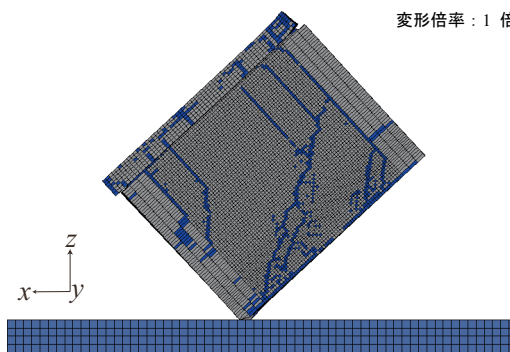


図－5 材料構成則

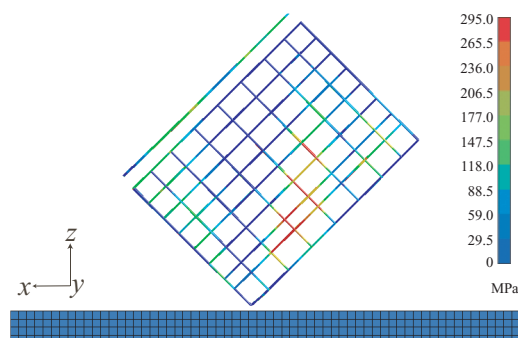
で、それぞれ 100, 100～125 および 100 mm である。

図－2 には、タイプⅠおよび後述する事前解析結果に基づいて耐衝撃仕様としたタイプⅡの容器の配筋状況を示している。用いた鉄筋および締結ボルトの仕様については、表－1 に示すように呼び径や配置間隔を変更している。鉄筋はタイプⅠにおいては、D10 および D13 (SD295A) を 85～200 mm 間隔で格子状に配置している。タイプⅡには、D10, D16 (SD345) を 85～150 mm で格子状に配置している。また、本体と蓋部の締結は、タイプⅠにおいてはネジ部呼び径 M16 のボルトを用いており、タイプⅡにおいては M20 のボルトを用い、かつボルト周りを補強している。

色バー: $-\infty$ -0.001 0.001 ∞ (MPa)
※青色の要素はひび割れ発生と等価な状態
変形倍率: 1 倍



図－6 最大重錘衝撃力発生時における第 1 主応力分布図



図－7 鉄筋応力分布

2.2 数値解析モデル

図－3 には、RC 製容器の要素分割状況を示している。コンクリート部は 8 節点固体要素を、鉄筋には 2 節点はり要素を用いた。なお、解析モデルにおいて鉄筋の交差によるずれは考慮していない。図－4 には、容器本体と内容物のモデル化を示している。内容物は総質量を 1.2 ton とし、便宜的に柔らかい弾性体（弾性係数 $E = 1$ MPa, ポアソン比 $\nu = 0.45$ ）でモデル化している。蓋部と本体は、剛体梁要素で結合している。

2.3 材料構成則

図－5 には、コンクリートおよび鉄筋の応力－ひずみ関係を示している。コンクリート要素には、(a) 図に示すバイリニア型材料構成則を用いている。すなわち、圧縮側はひずみが 1500μ で降伏応力（圧縮強度 f'_c ）に到達し、引張側は最大主応力が引張強度（圧縮強度 f'_c の $1/10$ ）に到達後、応力がゼロ（カットオフ）となるモデルである。一方、鉄筋は (b) 図に示すように塑性硬化を考慮した等方弾塑性体モデルである。なお、塑性硬化係数は弾性係数の 1% と仮定した。また、表－2 には、解析に用いた材料物性値の一覧を示している。

2.4 解析手法

事前解析では、RC 製容器に落下高さ ($H = 1.2$ m) に相当する衝突速度を付加し、コンクリート製の床に衝突さ

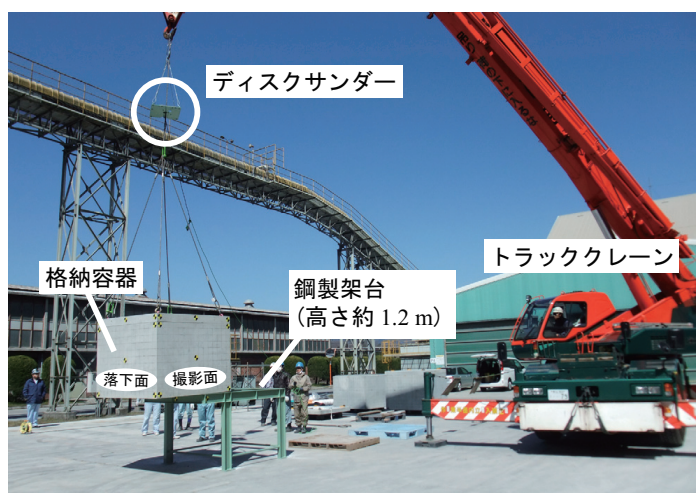


写真-2 実験の概要

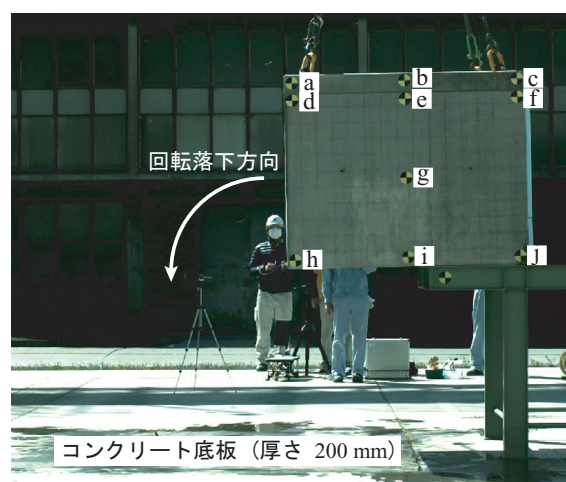


写真-3 実験の状況

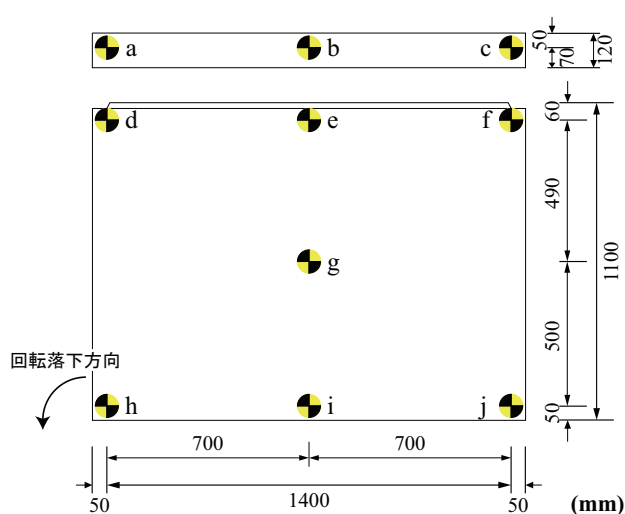


図-8 対称マーカ貼付け位置

せる形で行っている。なお、衝突時における容器の角度は、前述の考え方に基づき 45° とした。

2.5 解析結果

図-6 には、最大衝撃力発生時におけるタイプ I 容器の第 1 主応力分布図を示している。なお、図-5 (a) で仮定したコンクリートの材料構成則に基づき、ひび割れ発生位置を特定できるようにするために、第 1 主応力がゼロ近傍の応力 ($\pm 0.001 \text{ MPa}$) となる要素を青色で示している。すなわち、コンクリート要素においては、主応力がコンクリートの引張強度に到達すると、カットオフされてゼロになるため、青色の要素にはひび割れが発生しているものと判定できる。

図より、本体容器には、衝突部からひび割れが進展するとともに、容器の前面 (左側) においてもひび割れが顕在化していることが分かる。これは、落下衝突時における衝撃力の作用や、内容物の移動に伴う荷重载荷によるものと考えられる。また、蓋部は容器本体との接触面に沿って下方にずれており、右側締結部においては、ひび割

れが集中的に発生している。これは、剛体梁要素でモデル化した締結ボルト周辺のコンクリートが著しく損傷して、蓋部がずれたことを示しているものと考えられる。このことから、本事前解析の条件下においては、RC 製容器から内容物が漏洩する可能性は高いものと判断される。

このように、容器が落下する場合には締結ボルト周辺に過大な応力が作用することが明瞭に示されたことより、蓋部からの内容物の漏洩を抑制するためには、締結ボルト径を可能な範囲で大きくする必要があるものと考えられる。

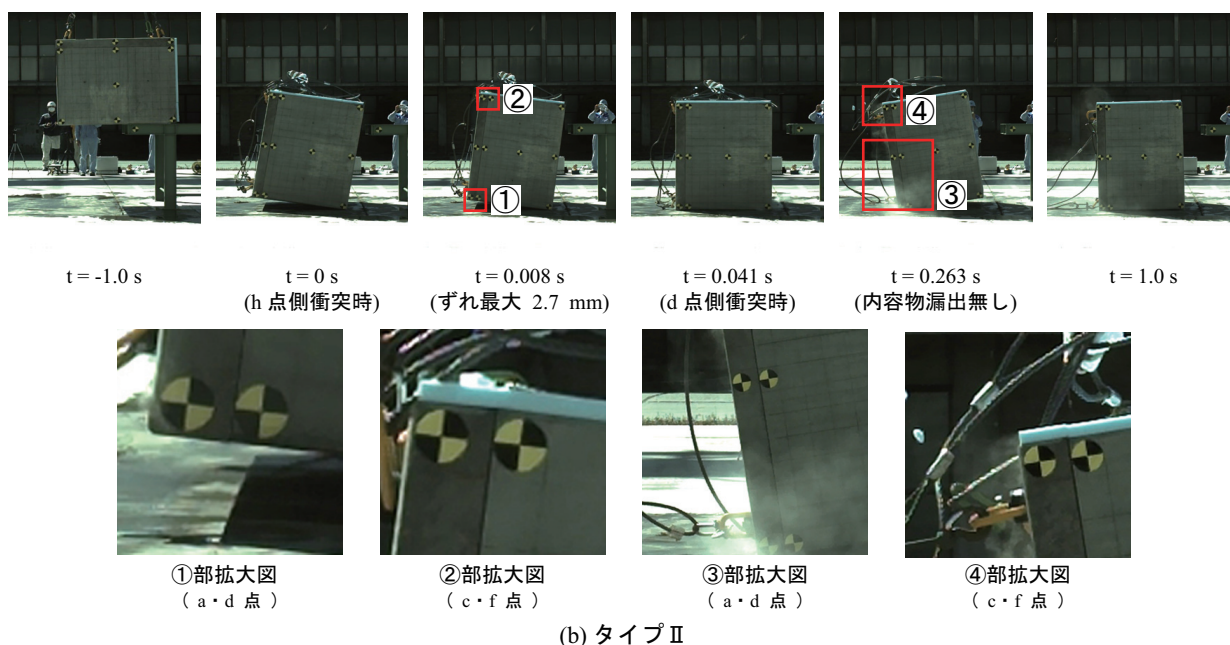
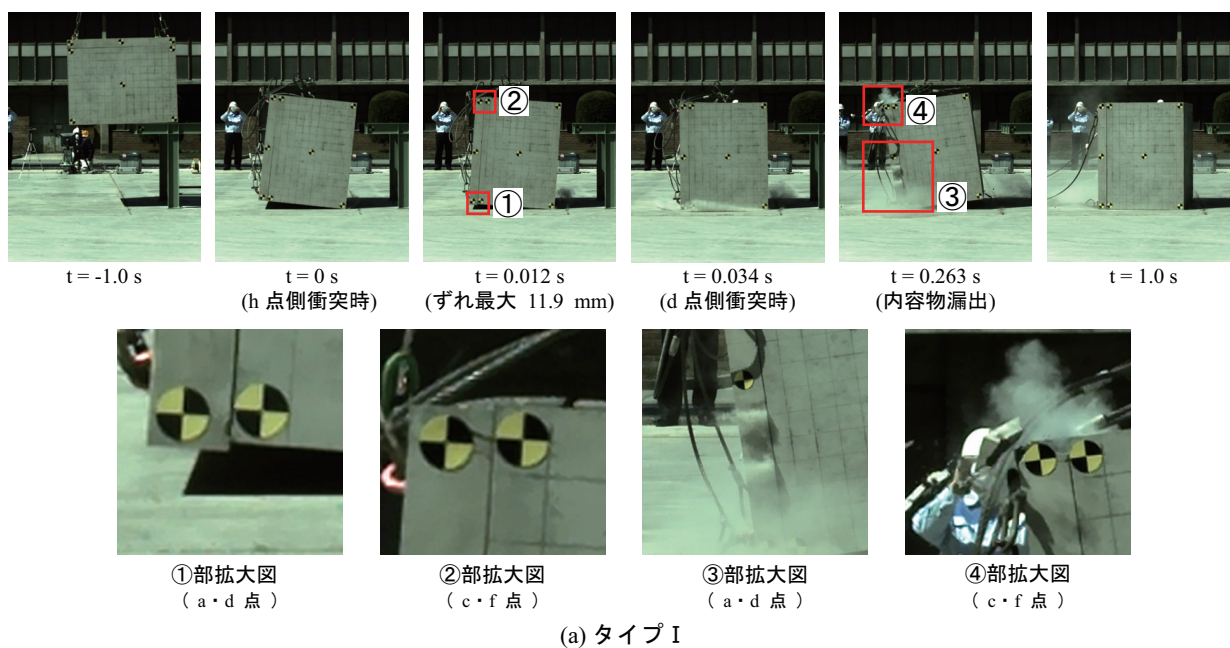
図-7 にはタイプ I 容器の鉄筋応力分布に関する側面図を示している。図-6 における容器側面中央部の斜めひび割れ部に沿って鉄筋が降伏していることが確認できる。従って、耐衝撃性向上のためには、鉄筋量を増加させる必要があるものと考えられる。

タイプ II 容器は上記の解析結果に基づき、かつ既定の格納容器の形状寸法を考慮した結果、締結ボルトの径を M16 から M20 に変更するとともにアンカーボルトも追加し、かつボルト周りを補強することとした。また、鉄筋径は D10/D13 から D10/D16 に変更するとともに規格も SD295A から SD345A に変更した。なお、蓋部においても容器本体と断面耐力を対応させるため、本体容器と同等に鉄筋量を増加させた。

3. 落下実験による落下抵抗性の評価

3.1 実験方法

写真-2 には、落下実験の概要を示している。また、写真-3 には実験状況を示している。実験は、コンクリート床 (厚さ 200 mm) に固定した鋼製架台の上面に RC 製容器を 600 mm 程度オフセットした状態から回転落下させて行った。鋼製架台の高さは、事前解析と同様に 1.2 m とした。また、容器はトラッククレーンにより吊り上げて設置した。落下は、容器を吊り上げているワ



写真－4 落下時の状況

イヤーを切断することにより行った。ワイヤーの切断はディスクサンダーを遠隔操作により作動させて行った。また、内容物として放射性廃棄物の焼却灰を模擬した粉体（フライアッシュ）をフレキシブルコンテナパックに入れて 1.2 ton 格納した。

本検討では、輸送物の種類が IP-2 型輸送物（放射能濃度が低いもの）である場合を対象としており、文部科学省の告示³⁾に基づき実験方法を決定した。なお、落下実験の場合には事前解析のように任意の角度を保った状態で容器を落下させることは困難であるため、想定している事象を忠実に再現することとし、トラック荷台からの落下を想定した回転落下実験により耐衝撃性を評価した。

3.2 高速度カメラによる変形量計測

容器の落下実験は、解像度 1024×1024 画素の高速度カメラを用いて毎秒 1,000 枚撮影した。また、各点の移動量 δ は、画像解析により算定した。すなわち、容器に貼り付けた対称マーカの移動量 δ_m (pixel) を計測し、下式に示すように基準点間の実測距離 L_r と画像内距離 L_p の割合 α (mm/pixel) を乗じて求めた。

$$\delta = \alpha \times \delta_m \quad (1)$$

$$\alpha = L_r / L_p \quad (2)$$

図－8 には、高速度カメラによる画像解析に用いた対称マーカの貼り付け位置を示している。実物の容器に

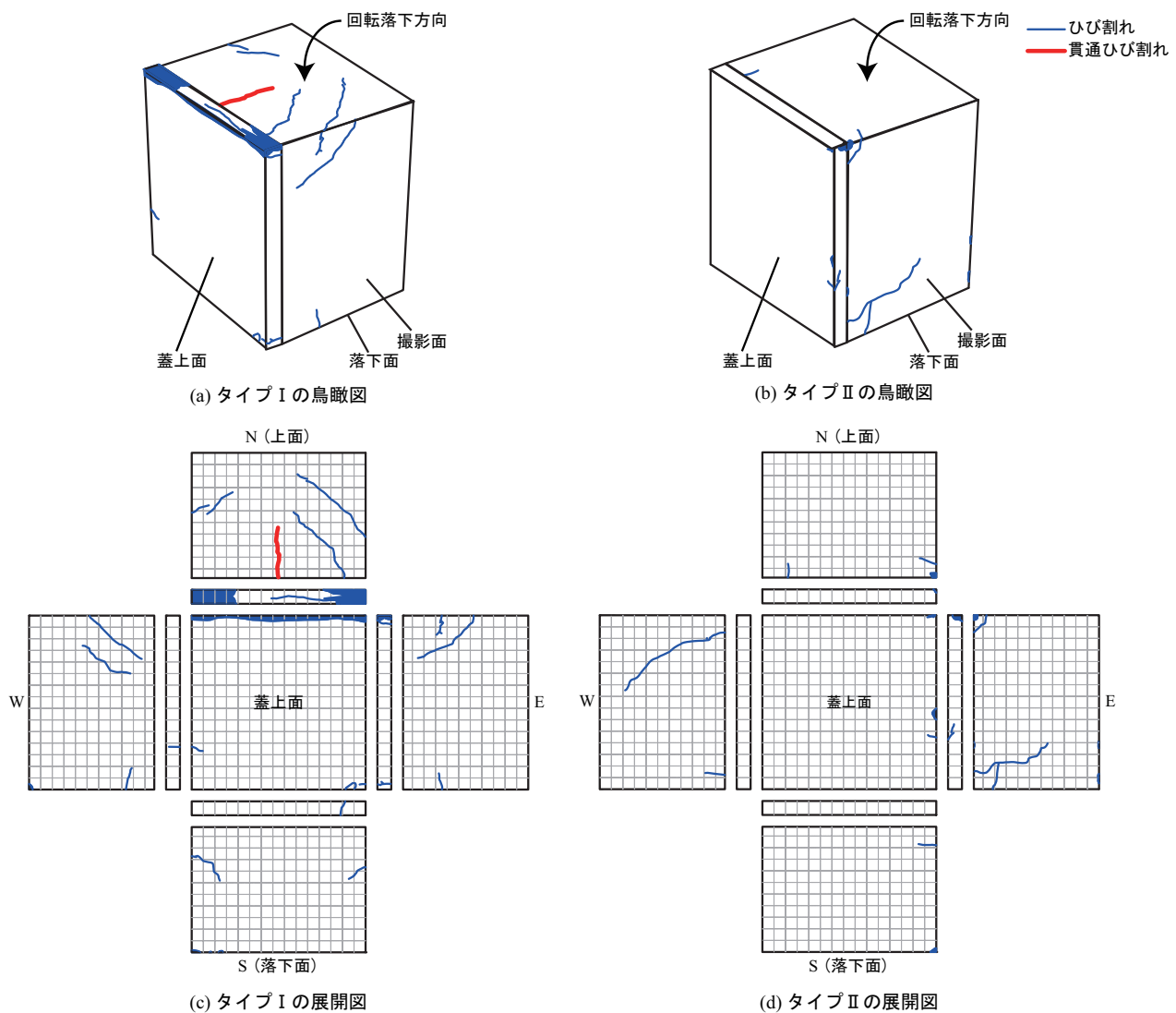


図-9 実験後のひび割れ状況



写真-5 タイプI 容器蓋部の損傷状況

は 100 mm 間隔ごとに格子状にメッシュを罫書きしており、その 1 区画の中央に来よう対称マーカを貼り付けている。

3.3 RC 製容器の製作

試験体の製作において、コンクリート打設面は、本体

容器の場合は底版部とし、蓋部の場合は側面部（小口）とした。また、打設後は蒸気養生（最高温度 65℃、3 時間保持）を行い、その後材齢 1 日で脱型し試験開始まで気中養生した。なお、実圧縮強度は 58.3 N/mm³ であった。

3.4 実験結果

(1) 落下状況

写真-4 には、タイプ I および II に関する落下実験時の高速度カメラ画像を時刻毎に示している。写真には、容器のコンクリート床衝突時を $t = 0$ s として、その前後 $t = -1.0 \sim 1.0$ s の状況を示している。写真より、タイプ I の場合には、 $t = 0$ s において h 点が衝突した後、 $t = 0.012$ s に蓋部が回転落下方向にずれていることが分かる。その後、蓋部がずれた状態で $t = 0.034$ s において d 点が衝突するため、 $t = 0.263$ s には蓋部 c 点近傍のコンクリートが剥離し、上方に漏洩していることが分かる。

一方、タイプ II の場合には、 $t = 0$ s の h 点衝突後においても蓋部のずれは生じておらず、 $t = 0.041$ s の d 点衝突時においても蓋部の損傷は見られない。また、その後における内容物の漏洩も認められない。これは、前述の

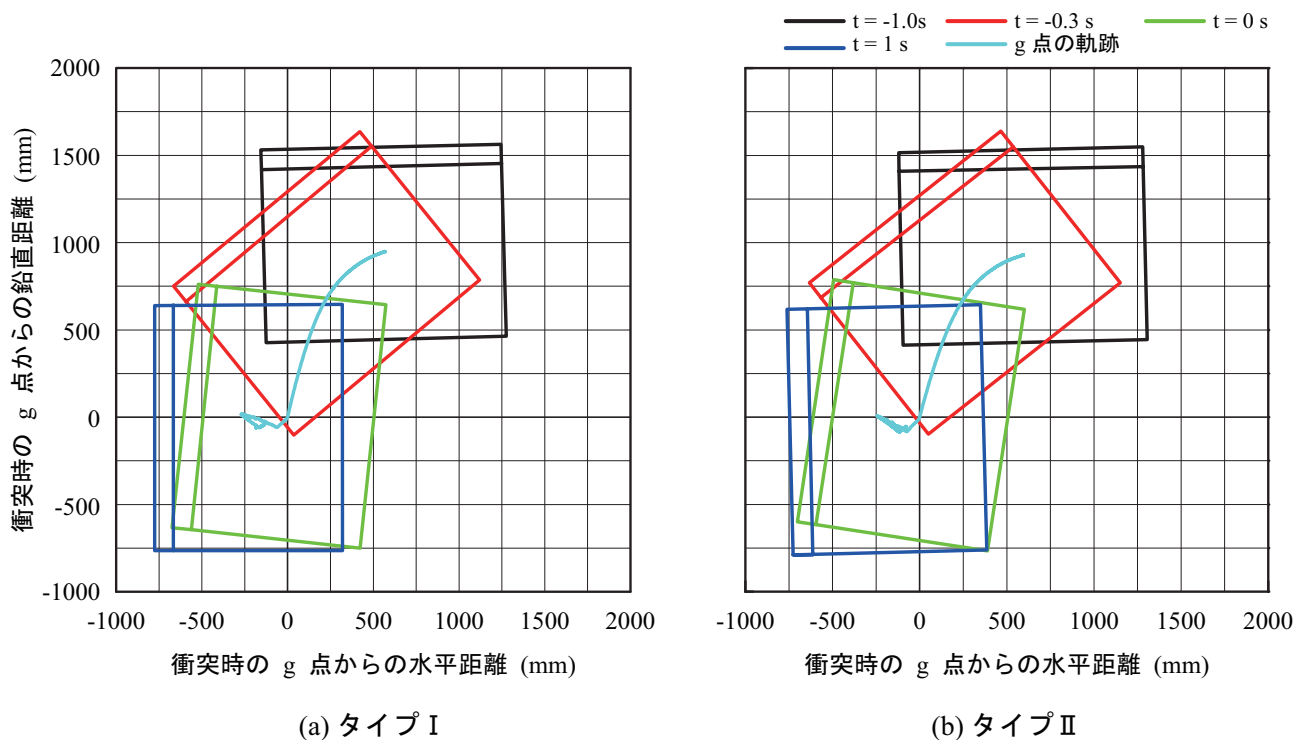


図-10 容器の軌跡

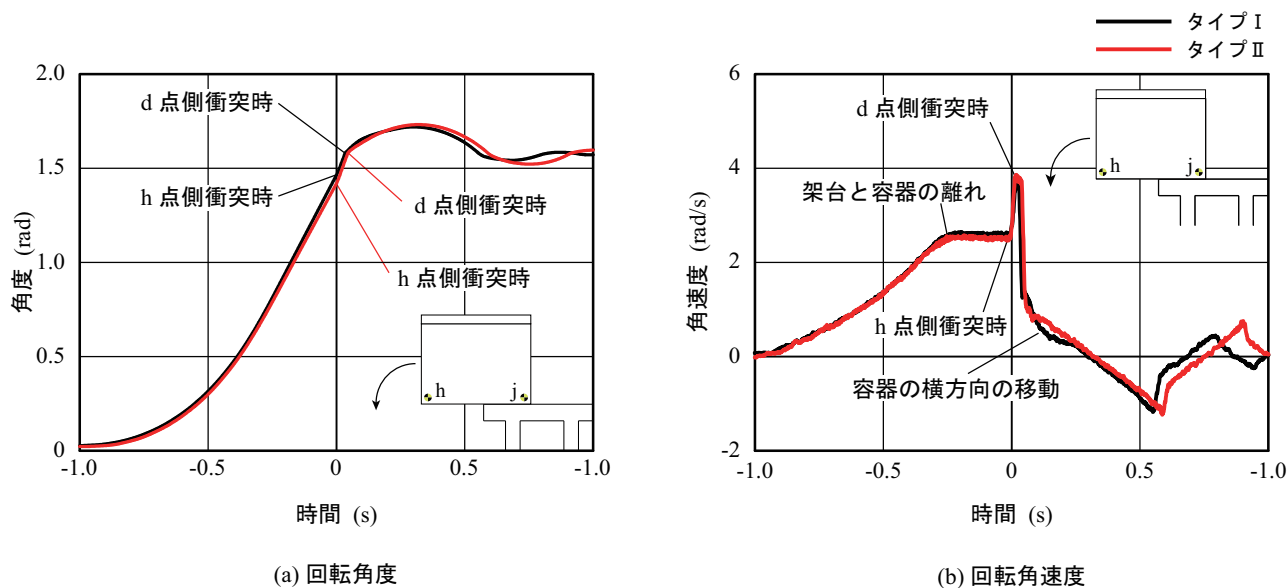


図-11 回転角度および回転角速度の時刻歴波形

ように、タイプ II の場合には、耐衝撃性向上のために蓋部と本体の締結ボルトの径を大きくしたため、ずれが抑制されたものと考えられる。

(2) ひび割れ性状

図-9 には、実験終了後における RC 製容器のひび割れ性状に関する鳥瞰図および展開図を示している。図中の青色の細線は容器外面に確認されたひび割れを示している。また、赤色の太線は容器外面から内部に貫通しているひび割れを示している。なお、展開図の底面については、ひび割れが確認されなかったため、表示していない。

タイプ I の鳥瞰図および展開図より、蓋部が大きく損傷していることが分かる。また、蓋部の損傷部近傍に近

接した容器本体には貫通ひび割れが発生している。貫通ひび割れが生じたのは、本体の配置鉄筋がひび割れの開口を抑制できなかったことによるものと考えられる。写真-5 には、蓋部の損傷状況を示している。

一方、タイプ II の場合には、蓋部の著しい損傷は見られず、外面にはひび割れが多少生じているものの、貫通ひび割れは発生していないことが分かる。このことから、タイプ II の場合には、ボルト径および配置鉄筋量を増加させたことにより損傷が抑制されたものと考えられる。なお、図-9 のひび割れ発生状況より、タイプ I、II ともに鉄筋が降伏するような損傷には至っていないものと推察される。

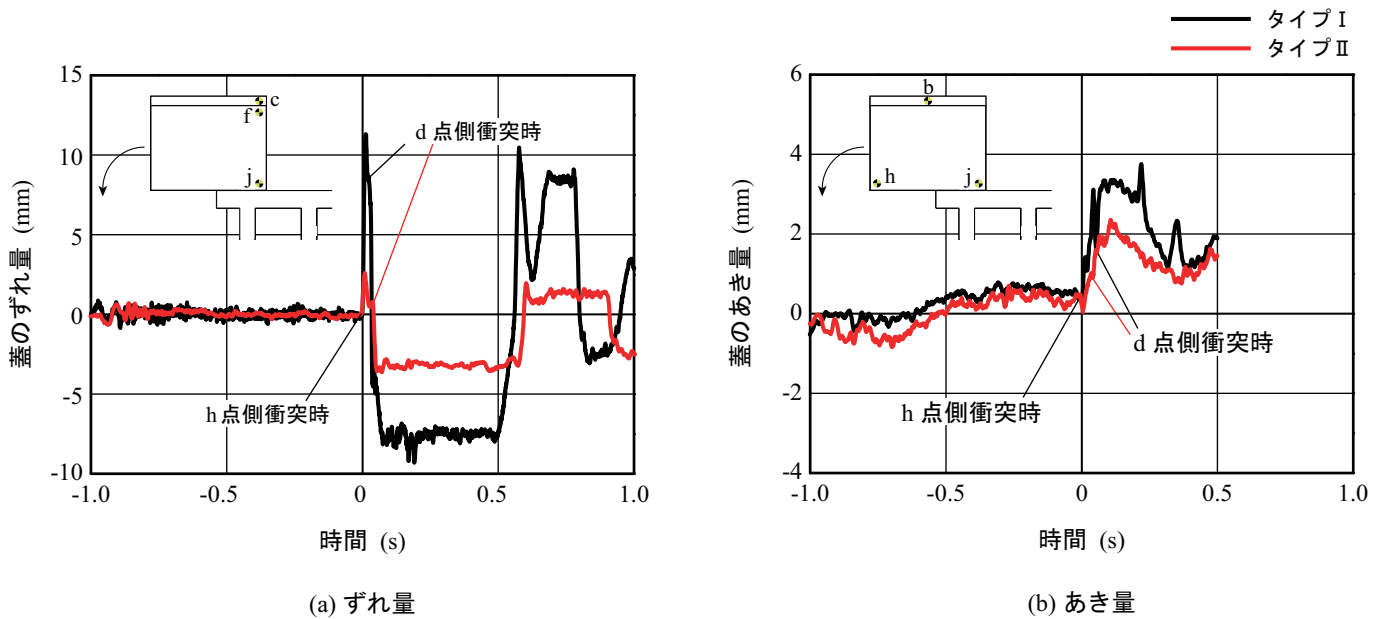


図-12 蓋部のずれ量とあき量の時刻歴波形

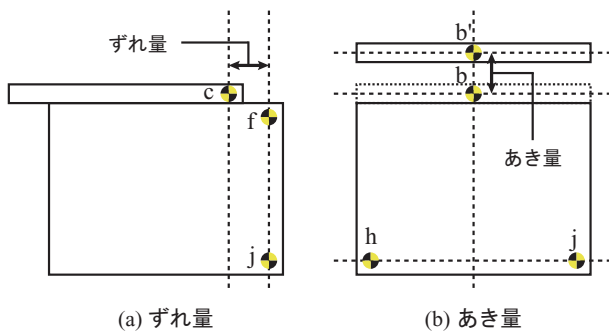


図-13 蓋部のずれ量とあき量の評価

(3) 容器の落下挙動

図-10には、高速度カメラの画像解析に基づいた各時刻における容器位置の推移をタイプI,IIについて示している。座標は、容器衝突時のg点の位置を原点としており、図中にはg点の軌跡を示している。図より、タイプI,IIともにg点の軌跡に若干の違いはあるものの、落下時の挙動は概ね同様であることが分かる。従って、タイプI,IIの落下実験は、概ね同条件で実施されたものと判断できる。

図-11には、容器の回転角度および回転角速度(以後、角速度)の時刻歴波形を示している。角度は、落下前を0radとし、各時刻におけるh点およびj点の座標を用いて評価した。図-11(a)より、タイプI,IIともに同様の波形性状を示していることが分かる。容器の角度は、落下開始時からh点側衝突時($t=0$ s)まで二次曲線的に増加している。角度の増加勾配は、その後さらに増大し、d点側衝突後急激に低下する。このように、容器が回転を伴って落下するため、時間経過とともに角度が増加し、概ね $\pi/2$ ($=1.57$)rad程度において角度の変動が収束している状況が分かる。

図-11(b)には、容器の角速度の時刻歴波形を示している。角速度は、回転角度の単位時間増分であり、図-11(a)の回転角度の時刻歴波形を時間で微分して評価した。図より、タイプI,IIともに類似の波形性状を示していることが分かる。また、角速度は、 $t=-1.0 \sim -0.3$ s程度までは、概ね線形に増加している。その後、h点衝突時($t=0$ s)まで一定値を示している。これは、容器が鋼製架台から離れ、回転落下から鉛直自由落下に移行したためである。

その後、角速度は、h点側端部衝突直後に急激に加速し、d点側端部衝突直後に急激に0に向かって減速する。従って、d点衝突時には容器には大きな回転モーメントが作用しているものと考えられる。これは、d点衝突直後にタイプIの蓋部が著しく損傷したことと対応している。

(4) 蓋部のずれ量とあき量

図-12には、蓋部のずれ量とあき量に関する時刻歴波形を示している。ずれ量およびあき量は、図-13に示すように、蓋部に対して直角および平行な線(基準線)と蓋部の点との距離として評価している。図-12(a)より、蓋部のずれ量は、タイプI,IIともにh点側衝突時に急激に大きくなっていることが分かる。ただし、タイプIの場合には、12mm程度ずれているのに対し、タイプIIの場合には2.5mm程度である。

また、最大ずれ量到達後、ずれ量は若干減少し、その後d点側の衝突に伴って急激に負側にずれる傾向を示している。これは、蓋部が回転落下方向にずれた状態でh点側がコンクリート底面に衝突したことによるものである。その後、 $t=0.5$ sでは、蓋部のずれ量が再度正側・負側へのずれを繰り返している。これは、容器が揺動していることによるものである。以上のことから、タイプIIのずれ量はタイプIの場合よりも全般的に小さいこと

表－3 落下時における要求性能と性能確認結果の一覧

RC 製容器のタイプ			タイプⅠ		タイプⅡ
性能確認方法			予備解析 (45°鉛直落下)	実験 (回転落下)	実験 (回転落下)
仕様	鉄筋	呼び径	D10, D13	D10, D13	D10, D16
		配置間隔	85-200 mm	85-200 mm	85-150 mm
	締結ボルト	呼び径	M16	M16	M20
要求性能	落下後においても 内容物が漏洩しない	漏洩の有無 (接合部)	蓋部のずれ 45 mm 蓋部のあき 16 mm 漏洩する可能性高い	蓋部のずれ 12 mm 蓋部のあき 4 mm 内容物が漏洩	蓋部のずれ 2.5 mm 蓋部のあき 2 mm 内容物の漏洩なし
		漏洩の有無 (ひび割れ開口部)	貫通ひび割れが多数発生 漏洩する可能性高い	貫通ひび割れが 1 本発生 漏洩する可能性あり	貫通ひび割れなし 漏洩する可能性なし

分かる。これは、タイプⅡの場合には、ボルト呼び径を M16 から M20 に変更したため、ずれに対する抵抗性が改善されたことによるものと考えられる。

図－12 (b) より、蓋部のあき量は、h 点衝突時に増大し、d 点側衝突後にさらに急増していることが分かる。これは、内容物が蓋部を押し出していることによるものと推察される。また、その大きさはタイプⅡの方がタイプⅠよりも小さい。これは、タイプⅡの場合にはタイプⅠの場合に比べて締結ボルト径が大きいことに加え、蓋部の鉄筋量が大きく曲げ剛性が改善されていることによるものと推察される。

表－3 には、本研究における事前解析および落下実験の結果を総括して、要求性能と性能確認結果を一覧にして示している。

4. まとめ

本研究では、所要の落下抵抗性を有する RC 製容器の開発を目的に、3 次元弾塑性衝撃応答解析 (FEM) を行い、落下後においても内容物が漏洩しないことを要求性能とした耐衝撃仕様 RC 製容器を提案した。また、トラックの荷台からの落下を模擬した落下実験を行い、提案の RC 製容器の耐衝撃性能を検証した。実験は、放射性廃棄物の焼却灰を模擬した粉体を格納した RC 製容器を用いて実施した。本研究により得られた知見を整理すると、以下の通りである。

- 1) 3 次元 FEM 解析において、耐衝撃性を考慮しない容器 (タイプⅠ) の場合には、鉄筋の降伏や蓋部の著しいずれが発生することを明らかにした。また、その結果に基づき、配筋および締結ボルトの仕様を変更した耐衝撃仕様 RC 製容器を提案した。
- 2) 放射性廃棄物の焼却灰を模擬した粉体を格納した RC 製容器の落下実験の結果、タイプⅠの場合には蓋部と本体容器を締結するボルトが変形するとともにコンクリートが著しく損傷し、蓋部から内容物が漏洩した。また、貫通ひび割れの発生が確認された。
- 3) 事前解析結果に基づいて提案した耐衝撃仕様の容器 (タイプⅡ) の場合には、貫通ひび割れは見られず、

かつ蓋部のずれ量やあき量が低減され、内容物の漏洩が確実に抑制されていることが確認された。

今後は、回転落下時における RC 製容器の耐衝撃挙動を適切にシミュレート可能な FEM 解析手法を確立し、耐衝撃仕様 RC 製容器の合理的設計手法の確立に向けた検討を行う必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、土木研究所寒地土木研究所には高速度カメラの貸出しおよび使用方法に関するご助言などのご支援を頂いた。また、名古屋工業大学前田研究室には高速度カメラ撮影データをご提供頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木裕介, 藤倉裕介, 林健一; 李有震, SanjayPAREEK, 荒木慶一: 震災ガレキ再生コンクリートを用いた放射能による汚染物格納容器の開発, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, Vol.67, CS4-012, pp.21-22, 2012.9
- 2) 橘 修, 畑中 貢, 坂井悟, 大久保英也: 放射性物質汚染廃棄物の仮置保管施設の開発 (その2), 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, Vol.67, VI-507, pp.143-144, 2012.9
- 3) 文部科学省: 放射性同位元素等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告知, 告示第 58 号, 最終改正平成 23 年 3 月 28 日
- 4) 日本道路協会: 道路土工—カルバート工指針
- 5) 環境省: 特別措置法施工規則第 26 条第 1 項第 1 号二, 告示第 15 号, 平成 25 年 2 月 28 日
- 6) 国立環境研究所: 汚染焼却飛灰廃棄物等の最終処分場 (遮断型構造) に用いるコンクリートに関する技術資料, 平成 27 年 2 月

(2015 年 9 月 25 日受付)

(2016 年 2 月 1 日受理)