

## 実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)による液体タンクの実大破壊実験計画

防災科学技術研究所 梶原浩一  
 同 上 山下信雄  
 科学技術振興事業団 正会員 ○岡正治郎  
 三菱重工業株式会社 伊藤智博

**1. はじめに** 現在、独立行政法人防災科学技術研究所では、兵庫県南部地震後 10 年目にあたる平成 17 年完成を目指して、兵庫県三木市に実大三次元震動破壊実験施設(愛称:E-ディフェンス)の建設を進めている。当施設は、重量 11.8MN(1,200tonf)の試験体を、兵庫県南部地震時に観測された地震動で加振する事が可能な、世界最大規模の震動台を有する。本報は、本震動台を使用した液体タンクの実大試験体による破壊実験計画を事前に立案する事により、実験実施の可能性を検証するとともに、具体的作業における課題の抽出を目的としたものである。

**2. 想定実験** 実大の液体タンク試験体を対象に、兵庫県南部地震で観測された、JR 鷹取駅における三次元地震動を入力地震動とし、象足座屈に起因する下部外壁破断を生じさせる実験を想定する。

**3. 実験対象試験体および支保** 実験対象は、兵庫県南部地震において、上記の破断が発生し、かつ実大での実験が可能なサイズのものを選定した。図-1 にタンクの概要を示す。安全性を考慮して内容液は水とし、満水状態で実験を行う。試験体の移動、実験中のタンク倒壊、破壊等による実験施設破損の防止および漏水への対応、等のための支保も製作する。図-2 に支保の概要を示す。支保はH鋼(300mm×300mm)で構成し、底部から 8m までは、周囲を厚さ 6mm の鋼板で囲い、タンク内の水が全て流出しても保持できるようにする。底板部には剛性向上のため、コンクリートを充填する。支保の総重量は、約 1.8MN(約 180tonf)である。タンク、水、支保の合計重量は約 11.6MN(約 1,180tonf)となる。計測機器等の重量を考慮しても、E-ディフェンスの最大搭載重量 11.8MN(1,200tonf)以下となり、実験可能である。

**4. 試験体の製作・運搬・設置** 震動台の占有期間をできるだけ短くするため、試験体、支保は実験棟に隣接する実験準備棟で製作する。水を除く重量は約 2.3MN(約 230tonf)であり、既存の運搬技術(エアローラー等)で実験棟へ運搬可能である。震動台上への設置は、実験棟に装備される天井クレーン(400 トン×2 台)を利用し、設置後に、計測準備、防護、注水等を行う。

**5. 計測計画** E-ディフェンスの計測可能チャンネル数 900 を考慮し、表-1 に示す通りの計測計画とした。

**6. 地震波再現性** E-ディフェンスで、JR 鷹取波が再現できる事を確認するために、試験体を含む制御システムの数値モデルを構築し、水平、鉛直 2 次元での加振シミュレーションを実施した。図-3 に震動台中央部における、水平方向の応答を示す。シミュレーション結果は目標波とよく一致しており、本施設は当該の実大タンクを搭載した状態で、JR 鷹取波を精度よく再現できる事が確認できた。

**7. タンク挙動シミュレーション** 試験体に破断が生じる事を確認するため、タンクおよび水を軸対称要素でモデル化し、JR 鷹取波を入力した際のタンク挙動の線形 FEM 解析を実施した。図-4 に、解析結果の一部として、外壁の応力分布を示す。これらの結果から、日本建築学会の容器構造設計指針に基づき、座屈判定を行った。式(1)、(2)にその結果を示す。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}} = \frac{1.35/2(N/mm^2)}{122.1(N/mm^2)} + \frac{293/2(N/mm^2)}{122.1(N/mm^2)} = 1.2 > 1 \quad (1)$$

$$\frac{\tau}{s f_{cr}} = \frac{133.4/2(N/mm^2)}{135.7(N/mm^2)} = 0.49 < 1 \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_c$ : 平均圧縮応力度  $\sigma_b$ : 圧縮側曲げ応力度  
 $\tau$ : せん断応力度  $c f_{cr}$ : 許容圧縮応力度  
 $b f_{cr}$ : 許容曲げ応力度  $s f_{cr}$ : 許容せん断応力度

キーワード: E-ディフェンス、振動実験、破壊実験、実大試験体、タンク

連絡先: 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1 Tel.0298-51-1640 Fax.0298-51-1641

式(2)はせん断座屈が発生しない事、式(1)は象足座屈が発生する事を示しており、象足座屈に起因する破断が生じる可能性がある事が確認された。なお、実構造物は非線形挙動を示す事を考慮し、解析結果の2分の1の応力を判定に用いた。

**8. 実験工程** 表-2 に概略の実験工程を示す。項目2から8までは震動台上での作業となり、1実験あたりの震動台占有期間はおよそ4週間となる。

**9. まとめ** 現在建設中のEーディフェンスにおける、実大の液体タンク試験体の破壊実験の実現可能性を検証するために、実験計画を立案した。破壊に至らしめる加振能力、入力地震波の再現性、具体的な実験手順等、現実的なレベルで実現可能であることが検証できた。なお、本報は実験の技術的な実現可能性の検証に焦点をあてたものである。平成17年度の稼動開始後の具体的な実験実施に際しては、この分野のより詳細な調査が必要である。

**参考文献** 1)Oka,S., Kajiura,K.,Itoh,T.,Feasibility Study Of Tank Failure Test With "E-Defense", 2002 ASME PVP, 2002.8 (投稿中) 2)容器構造物設計指針, 日本建築学会, 1996 3)阪神・淡路大震災調査報告 建築編-3, 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会, 1997 4)掛川 他, 実大3次元震動破壊実験装置の線形モデル化, 第3回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, 土木学会技術推進機構, 2002

表-1 計測計画

	鉛直方向		周方向		計測チャンネル
	低部から(m)	計測点数	間隔(度)	計測点数	
ひずみ(三軸)	0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0(外側及び内側)	10	22.5	16	480
加速度(三軸)	4, 6, 8, 10, 12, 14	6	45	8	144
	0, 5, 10, 15	3	22.5	16	144
変位(三軸)	3, 6, 9, 12, 15	5	90	4	60
	0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15	11	90	4	44
液面レベル	-	-	90	4	4
合計	-	-	-	-	900

表-2 実験工程

項目	期間	備考
1 試験体, 支保の構築	2週間	実験準備棟にて
2 実験棟への運搬	1日	エアローラ等使用
3 震動台上への設置	1日	天井クレーン使用
4 計測準備 各種防護工準備 等	2週間	防水処置等
5 タンク注水	1日	
6 予備加振	1日	
7 破壊実験, 排水	1日	
8 試験体, 支保撤去	1日	実験準備棟へ移動
9 解体	1日	実験準備棟にて

鋼製タンク (SS400)  
板厚: 9mm  
重量: 0.5MN (50tonf)

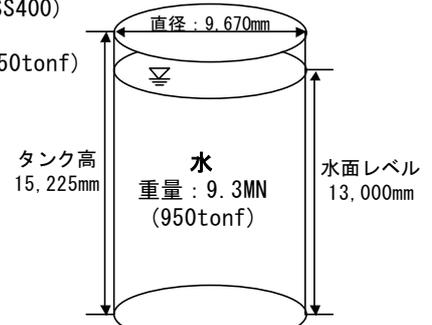


図-1 試験体

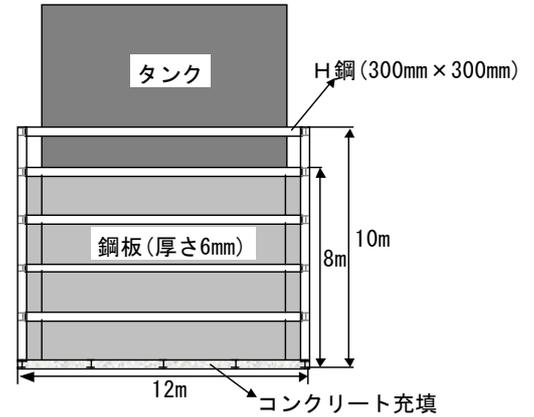


図-2 支保

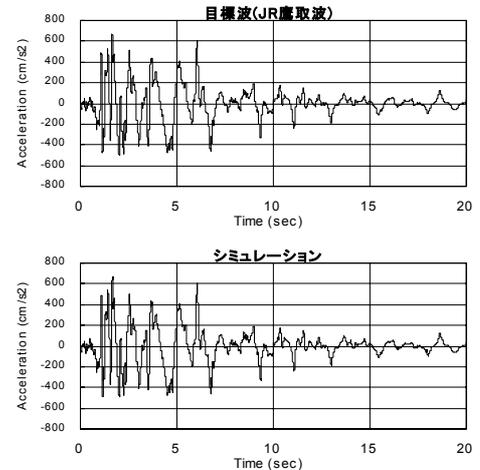


図-3 震動台中央部の応答(水平方向)

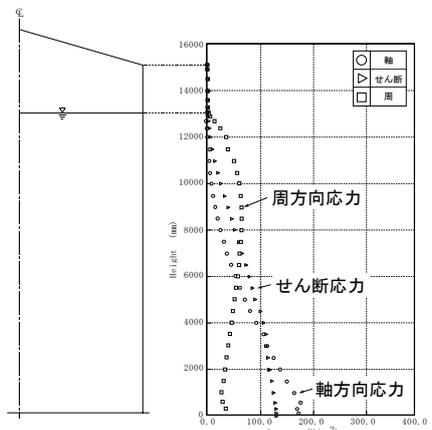


図-4 タンク外壁の応力分布