

Prestressed Concrete 格納容器

1/15 縮小模型의 水平加力實驗

原子炉格納容器的 大型化에 따라 歐美에서는 이미 鋼製容器로 부터 Prestressed 를 導入한 콘크리트製容器로의 轉換이 보여지고 있다.

우리나라도 곧 PS콘크리트製 格納容器的 시대를 맞게 될 것인데 그 새로운 構造基準의 制定에는 그 實驗的 뒷받침이 있어야 할 것이다.

콘크리트製容器 (Concrete Containment Vessel: C C V) 技術基準案의 作成過程에서 構造耐力的 確認과 設計의 合理化를 도모하는데 있어서,

- 地震時 水平力에 대한 剪斷抵抗, 주로 円筒 Web部の 面内剪斷耐力的 評價와 設計法.
- 基部の 面外剪斷耐力的 評價와 設計法.
- 熱応力에 關한 軸剛性, 屈曲剛性評價.
- Liner anchor system의 設計法.

등 일련의 基準確證實驗의 필요성이 지적된다.

이 실험은 1,100MWe급 PWR用의 Prestressed Concrete 格納容기를 대상으로 한 1/15 縮尺模型에 대해, 内圧, 温度, 地震時

水平力등의 主要荷重을 加해서 그 拳動을 조사한 것이다.

최종적으로는 콘크리트格納容器的 구조적 一体性和 安全余裕度를 확인하여, 事故+地震을 想定해서 内圧과 温度荷重의 作用下에서 水平力에 의해 終局에 도달시켰다'

I. 試驗體

試驗體는 円筒壁에 半球Dome을 설치한 Prestressed Concrete 製이다(圖-1) 内部에는 水圧力을 加할때의 Air vent가 Dome 頂上에 있고 콘크리트 内面형틀 철거와 Lining 작업을 위해 맨홀이 底盤에 있는 것, 内圧·温度의 軸对称荷動의 시험후에 Spring Line 直下에 水平加力 Ring을 설치시켰다는 것, 다시 實機에서의 機器搬入口 기타의 貫通具는 무시했던 것이 모형의 특징이다.

Prestress는 세로方向과 円周方向으로 나누어서 導入되어 있다. 세로方向은 逆U字形을 한 20本の Tendon을 基盤下面에서 緊張시키고 円周方向은 서로 마주 보게 한쌍

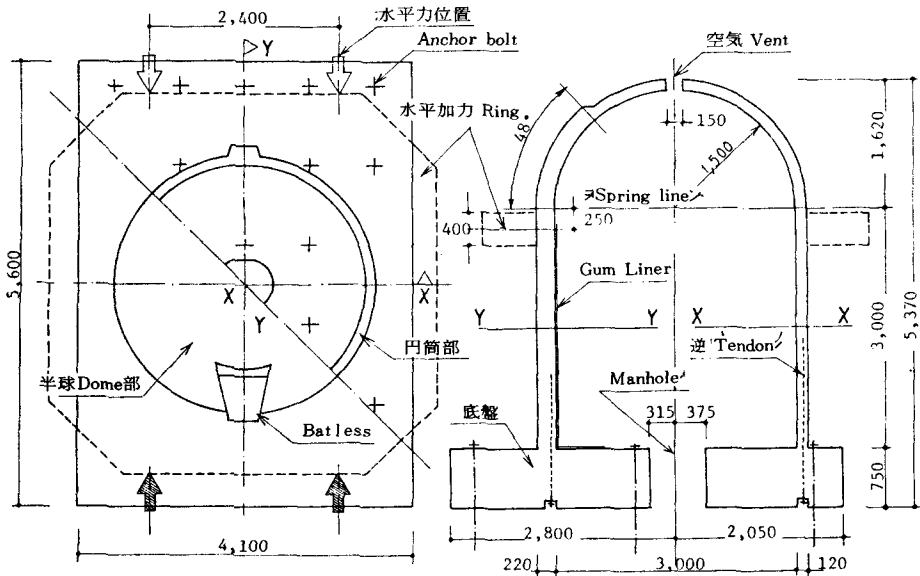


圖-1 試驗체의 形狀과 치수

의 Batress를 定着端으로 하는 27段의 Tendon을 緊張시켜 각각 導入되었다. (圖-2)

設計荷重은 다음과 같은 數值로 되어 있다.

- 事故時内圧 4.0kg/cm²
- 事故時温度 内部80℃, 外部 8℃
- 通常時温度 内部50℃, 外部 8℃
- 地震時水平力 實地크기 규모에 대해
水平震度 Co=0.2의 3倍.

그리고 Prestress는 거의 内圧荷重에 의해서 생기는 膜引張力을 相殺하는 정도의 壓縮力이다.

試驗体 各部와 그 製作方法은 대체로 다음과 같다.

[底盤] 鉄筋콘크리트製의 長方形盤으로 円筒部에서 底盤에 埋込되는 逆U Tendon의 Cease와 定着具, 円筒壁鉄筋의 定着余長, 試驗床으로의 固定用 Anchor Bolt Sleeve 등이 장치되어 있다.

[円筒部] 内徑 3m, 높이 3m, 두께 12cm

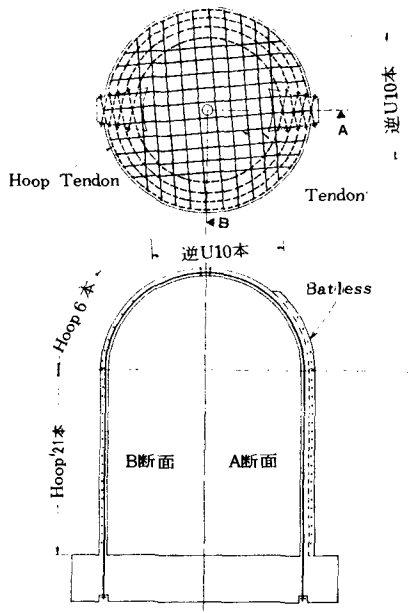


圖-2 Prestress材配置

의 부분에 円筒方向鉄筋(종류 D6, 鉄筋量 0.762%), 縦筋(D10-1.16%, 다만 基部에 대해서는 다시 D6을 삽입하였으므로 鉄筋량은 1.43%), 및 Prestress材(ϕ 12.7Strander, 円周方向 0.576%, 縦方向 0.336%)가 배치되어 있다. 콘크리트는 높이方向을 2회로 나누어 打設되었다.

[半球 Dome部] 内径 3m, 높이 1.5m, 두께 12cm의 部分으로 発泡스티롤材를 球面状으로 加工한 형틀을 사용하여 콘크리트가 打設되어 있다.

[内部 Lining] 5mm두께의 自然加硫 고무를 중첩 이음으로서 Lining이 되어 있다.

[水平加力 Ring] 試驗체에 地震時 水平力을 加하기 위한 鉄筋콘크리트製 Ring으로서 水平加力實驗에 들어가기 직전에 내부온도 80℃를 유지한 채 打設되었다.

円筒 및 Dome部の 콘크리트는 骨材 寸수가 10mm이하의 Micro-concrete 이며 設計強度 400kg/cm²에 대해 실험시에는 351kg/cm³(円筒部 콘크리트의 平均強度)였다. 円筒部 鉄筋(SD35) 및 Tendon의 降伏点強度는 각각 4.080kg/cm², 17,900kg/cm²이다. 그리고 Tendon은 Unbond Cease가 붙은 7本 絞임 ϕ 12.7 Strander(鋼線製)로서 緊張作業에는 CCL Jack이 사용되고 있다.

試驗체의 製作狀況을 写真 1~6으로 나타낸다.

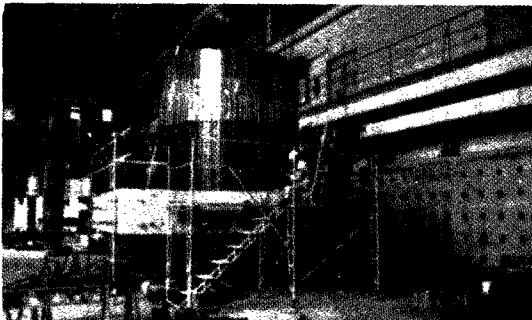


写真 - 1 試驗体円筒部の 製作

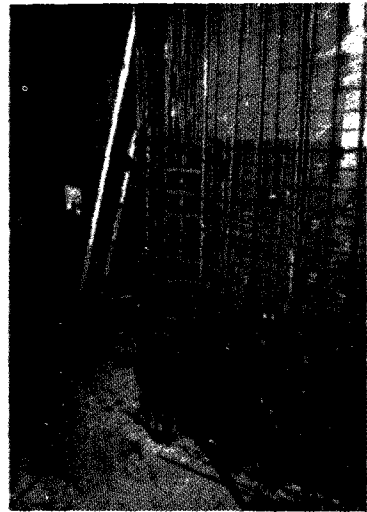


写真 - 2 円筒部 및 Batless의 配筋狀況 (円周方向 Tendon의 挿入作業中)



写真 - 3 Dome部の 製作

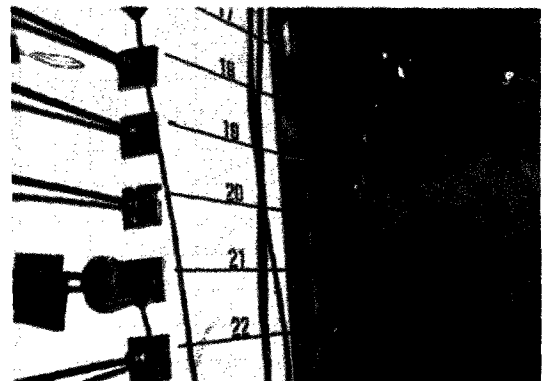


写真 - 4 円周方向 Prestress 導入의 導入作業

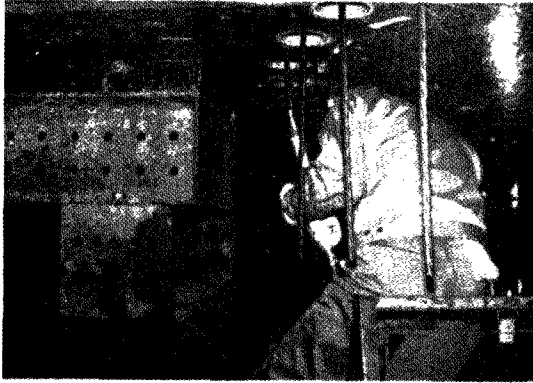


写真 - 5 縱方向 Prestress (逆U Tendon의 緊張)의 導入作業

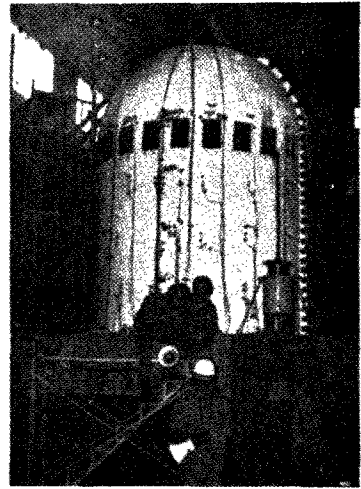


写真 - 6 Prestress導入後의 試驗体 Jackdown (設置)

表 - 1 荷重의 組合

試驗項目	荷重種類	Prestress	設計內圧	試驗時內圧	通常時運転	事故時溫度	事故時	事故時溫度	試驗時內圧	事故時溫度 + 地震	事故 + 地震	溫度 + 內圧	終局水平力
Pres-tress													
溫度					50°C			80°C					
內 圧			2, 4, 4, 4.6				4, 4, 4.6					4 kg/cm ²	
水 平 力					S ₁ = 235.8t S ₂ = 157.2t *) 部材角					0.25S ₁ , 0.5S ₁ , S ₁ , S ₁ , S ₁ , S ₂ , S ₂	4/1000*, 6/1000*		

II. 実験内容

実験項目은 設計荷重의 組合과 溫度荷重의 負荷時間을 고려하여 表 1의 順序를 따랐다.

1. Prestress荷重試驗

設計Prestress(縱方向에서 약 30kg/cm^2 , 円周方向에서 약 60kg/cm^2 의 壓縮応力)에 대한 試驗體의 導入応力 分布性狀을 조사한다. 導入時의 마찰損失과 Set時의 定着力損失量에 대해서는 미리 試驗緊張을 실시하여 확인한다.

2. 設計内圧試驗

Prestress導入後에 室内氣温下에서 設計内圧 4.0kg/cm^2 까지 水壓을 加해 彈性拳動을 검토하는데 이 때 變形, 콘크리트의 비틀림(歪)등이 測定되어 彈性計算値와 比較한다.

3. 試驗時 内圧試驗

実機에서는 完成後에 漏洩率試驗과 併行하여 실시되는 構造一體性 確認試驗(Structural integrity test; SIT)에 対応하는 것. 이 실험에서는 鋼製容器的 경우와 같이 設計内圧의 1.15배의 壓力(4.6kg/cm^2)을 常溫下에서 加하게 한다.

4. 通常運轉時 溫度試驗

内部 50°C 로 가열하였을 때의 試驗體 各部의 온도분포와 拳動을 조사한다. 但, 外部는 室溫으로 한다. 基準案에서는 荷重狀態 I에 対応한다.

5. 事故時 溫度試驗

内部를 80°C 로 가열하였을 때의 狀態를 조사한다.

6. 事故時 荷重試驗

内部가 80°C 의 狀態에서 設計内圧 4.0kg/cm^2 를 加한다.

7. 事故時溫度+試驗時内圧試驗

6의 狀態에서 内圧을 1.15배로 한 狀態인데 실제조건과는 관계없다.

8. 事故時溫度+地震時水平力試驗

内部를 80°C 로 유지시킨 狀態에서 S_1 지진相當의 水平力(157.2ton)을 交番荷重으로서 加하여 剛性和 耐力를 조사한다. 基準案에서는 荷重狀態 III에 対応한다.

9. 事故+地震時 水平力試驗

内部 80°C 의 온도와 設計内圧 4.0kg/cm^2 를 유지한 狀態에서 S_2 및 S_2 地震相當의 水平力(S_2 는 S_1 의 1.5배로서 235.8ton)을 交番荷重으로 加해서 剛性和 耐力를 조사한다. 基準案에서는 荷重狀態 IV에 対応하며 가장 嚴한 組合條件이다.

10. 終局荷重試驗

6의 事故時荷重을 유지한 狀態에서 水平力을 加해서 終局에 도달케 하여 破壞狀況, 耐力의 余裕度를 검토한다.

이상이 實驗項目인데 内圧과 溫度에 대해서는 圖-3에서와 같은 방법으로 加해졌다.

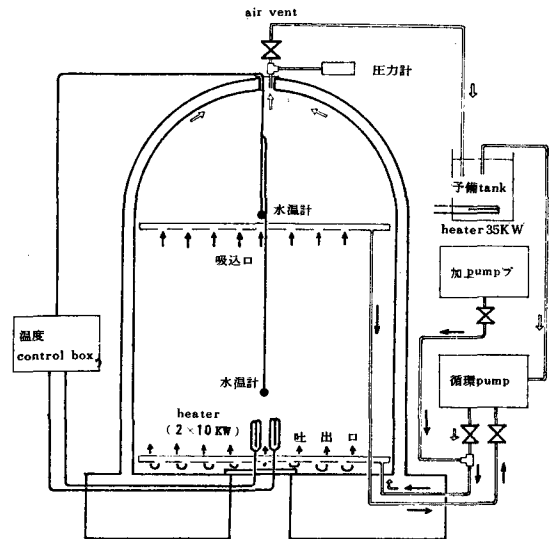


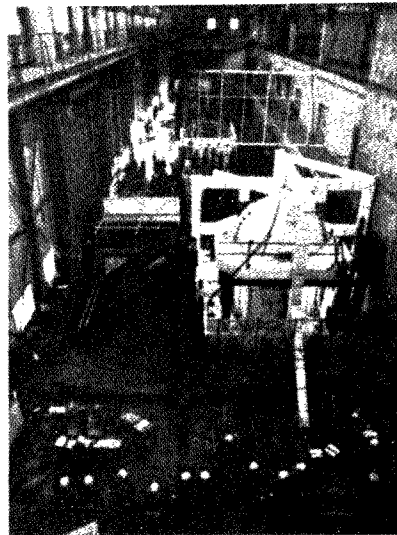
圖-3 荷重系統圖

즉, 内圧은 試驗体내부에 물을 채운 후 水 圧 펌프를 加하여, 온도는 内外부에 배치한 電氣heater로 가열하며 내부온도를 측정하여 자동적으로 一定水温이 유지되도록 control된다.

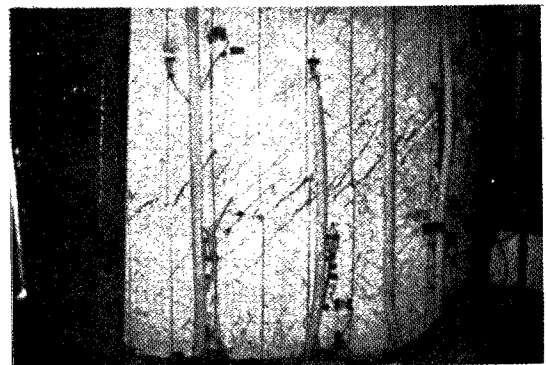
計測關係는 表-2에서와 같이 合計 416 개소에 歪度計, 變位計, 온도계가 설치되었다. 실험의 양상은 寫眞-7~11에 표시한다.

表-2 測定計畵

測定種類		測定點	測定數	測定用sensor	
1	鉄筋이트립	縱方向	168	168	箔gage
		円周方向	116	116	
2	콘크리트 이트립	内部縱方向	14	14	埋込型gage
		内部円周方向	14	14	
		外表面(3軸)	14	42	polyester gage
3	Tendon 定着端応力	逆U Tendon	4	4	center hall
		hoop tendon	6	6	load cell
4	變形	38	38	電氣式dial gage	
5	溫 度	concrete 内部	12	12	C. C. 熱電對
		concrete 内表面	8	8	
		concrete 外表面	14	14	
		水 溫	1	1	
		外 氣	2	2	
底 盤	5	5			
合 計		416	444		



寫眞-8 終局荷重實驗의 公開風景 (試驗体 앞에는 計測裝置과 加力裝置)



寫眞-9 終局荷重實驗에서의 円筒web部の 龜裂의 進行狀況



寫眞-7 計測裝置 (後方은 試驗体)



寫眞-10 終局荷重實驗에서의 円筒web部の 龜裂의 終局時的 狀況

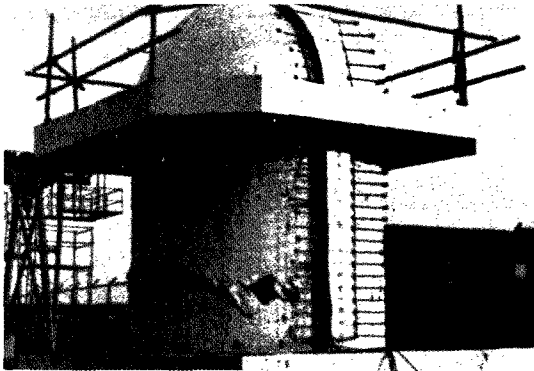


写真-11 實驗終了後の 試驗體

이상의 실험은 모형제작에 약 4개월을 요한다고 한다.

常溫에서의 内圧試驗(前項의 2, 3)에서는 試驗體의 挙動은 彈性的이며 콘크리트의 龜裂은 觀측되지 않았다. 그러나 시험체 내부를 사고시 온도로 유지하여 設計内圧을

작용시킨 단계에서는 円筒部 外表面에 円周方向 引張応力에 의한 縱龜裂이 생기고 剛性低下도 확인되었다. (前項의 5)

内部를 사고시 온도로 유지하여 地震時 水平力을 加했을 時, 円筒基部에 屈曲龜裂이 생기며 다시 사고시 내압을 작용시킨 상태(前項의 8)에서는 S_1 지진의 0.7배의 交番 水平力에서 円筒 web 부근에 剪断傾斜龜裂이 觀測되었다.

終局荷重試驗에서는 最大 648ton의 水平力까지 시험체는 견디었으며 円筒web 部の 剪断破壞로서 終局이 되었다. 終局耐力은 S_2 地震時 水平力의 약 2.7배 였으며 또 水平變形도 終局荷重時 部材角에서 약 14 / 1000에 達했으며 耐力, 變形은 다같이 Presstressed concrete 구조의 뛰어난 성능이 사고 지진 이라는 組合荷重下에서도 확인되었다.



도안·편집 | 처음부터 올바르게
 읍셀인쇄 | 정성을 다하는 인쇄사
 활판인쇄

成 廣 文 化 印 刷 社

서울특별시 중구 수표동61번지
 전화 269-3036 · 265-6902