

コンクリート格納容器に関する内外における研究の概況

青 柳 征 夫*

1. ま え が き

プレストレストコンクリート格納容器 (PCCV) は、1960 年代後半からのアメリカ、フランスを中心としてすでに多くの建設の実績¹⁾があり、これらの国々においては、設計ならびに施工上の各種の問題点についての研究が行われてきた。我が国においても、日本原子力発電 (株) の敦賀 2 号炉への PCCV の適用が決定されたことを背景に、技術基準の整備ならびに設計・施工法の確認と合理化を目的とした広範囲にわたる研究がここ数年の間に活発に実施されるようになった。

PCCV は、すでにフランス、イギリスなどでそれ以前に実用化がはかられていたプレストレストコンクリート圧力容器 (PCR) の経験が、設計・施工の両面において大いに役立ったことはいうまでもない。とくに、プレストレス導入工法、応力解析法、コンクリートの材料特性などの研究は、ほとんどそのまま PCCV の実現に大きな貢献をなしたといえよう。しかし、PCR は厚肉円筒構造物であるのに対し、PCCV は、壁厚が 1~2 m にもなるとはいえ、その直径や高さに比すれば壁厚が薄く、構造力学的にみればシェル構造物の範ちゅうに入り、PCCV 特有の問題点についての検討が必要となる。

格納容器の設計を支配する荷重条件の基本となるものは、事故時の内圧と温度条件である。アメリカ西海岸や我が国のような地震地帯では、格納容器の耐震性が重要な検討課題である。さらに、水ジェットや事故時パイプ破断に伴う内部ミサイル、航空機の落下や竜巻による外部ミサイルに対する耐衝撃性についても解析的ならびに実験的な確証が要求される場合もある。また、コンクリート格納容器では気密性が要求されることから、内張りライナーのコンクリートへのアンカー設計法の基本的な考え方を明解にしておく必要がある。

本文では、既往の文献資料に基づき、諸外国におけるコンクリート製格納容器 (CCV) に関連する研究を概観するとともに、通産省格納容器技術基準の合理化を目的として実施した我が国での実験研究の概要を簡単に述べる。コンクリート製格納容器には、プレストレストコンクリート製 (PCCV) のものと鉄筋コンクリート製 (RC-

CV) のものがあり、当面我が国では前者が建設されることになるが、研究という観点から見れば、両者には共通点も多いので、ここでは、PCCV に内容を限定することなく、RCCV の研究をも含めて述べさせていただく。なお、コンクリート製格納容器を総称するときには CCV と略記するものとする。

2. 諸外国における研究の概況

2.1 ア メ リ カ

TMI 事故によって有名となった Three-miles Island 原子力発電所の PCCV をはじめとし、建設実績の点では世界をリードしているアメリカにおいても、CCV についての研究がとくに活発になされてきたとはいえず、建設が研究に先行したという感じを拭うことはできない。これは、CCV そのものの建設技術にはとくに目新しいものではなく、在来技術の延長のうえに十分に技術的な対応ができるという判断に基づいたものであろう。しかし、最近になって、CCV の耐震性の検討を目的とした基礎研究、内外ミサイルに対する耐衝撃性の確証を目的とした研究など注目すべき研究がなされるようになってきた。

CCV の地震応答特性の究明をはかるための一環として、Cornell 大学²⁾および Portland Cement 協会³⁾におけるシェル要素の面内せん断耐力に関する研究が行われている。これらは、図-1 のように、RC 板に面内膜力とせん断を同時に作用させ、CCV のシェル要素に事故時内圧と地震時せん断力が同時に作用した状態を想定し

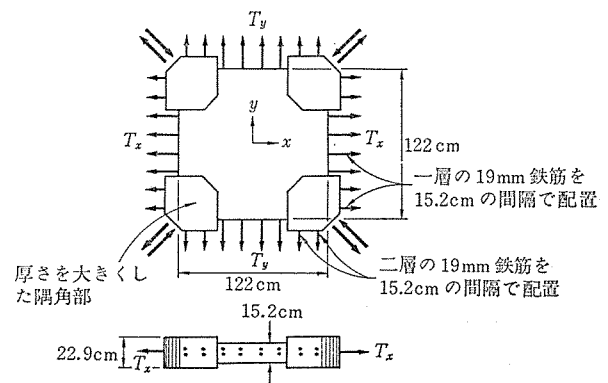


図-1 Cornell 大学での RC 板の 2 軸膜力、せん断実験

* 電力中央研究所土木技術研究所原子力構造研究室長

た実験的研究である。CCV の地震応答の動的解析を行う場合、ひびわれ発生後のせん断剛性を定義する必要があるが、MIT (マサチューセッツ工科大学)⁴⁾では、これらの実験の結果を参考にしたシェル要素のせん断変形ヒステリシスループのモデル化を行い、これを振動応答の時刻歴解析に適用することを目ざしている。シェル要素の面内力に対する応力と変形の解析法としては、ひずみの適合条件に基づいて Duchon⁵⁾ が算定式を提案しているが、これは、ひずみエネルギー最小の原理に基づく Baumann⁶⁾ の算定式と基本的に異なるものではない。RC および PC のひびわれを介するせん断伝達の問題については、Mattock⁷⁾ が一連の実験研究を行っている。円筒壁と底版の境界部に生ずる面外せん断については、Sarner⁸⁾ らの解析的ならびに実験的な研究がある。

格納容器壁に及ぼす内外ミサイルの影響に関する研究は、アメリカでの重点研究の一つとなっており、EPRI (アメリカ電力中央研究所) がスポンサーとなって精力的に実験研究⁹⁾ が行われた。これは、竜巻によってもたらされるコンクリートポール、鉄柱、自動車などの直撃に対する RC 壁の衝撃抵抗を調べるために実施したもので、5m×5m×0.6m の RC パネルにロケットで噴射させた物体を衝突させ、貫通や裏面剝離の性状を検討したものである。実験の結果、通常問題となる飛来物であれば、コンクリート壁が十分衝撃に耐えられるものであることが確認された。なお、EPRI では、主冷却材パイプの破断によるジェット噴流がコンクリート壁に及ぼす動的効果、地盤と格納容器の地震動に対する相互作用などの動的問題の解析ならびに実験的な研究を実施し、これらの三次元動的問題を総合的に解析できる STEALTH 3D という計算プログラムを開発している¹⁰⁾。

CCV の熱応力設計を対象とする実験的研究は見当たらないが、Gurfinkel¹¹⁾、Pajuhesh¹²⁾ 等は、熱応力と外力が複合して作用する場合のひびわれの発生を考慮した剛性低減の実用計算方法を提案している。これらは、いずれもひびわれ断面の剛性に基づくもので、剛性を過小に評価するという熱応力の観点からは問題がないとはいえない。

ライナーのアンカー方法については Bechtel 社等による若干の実験的研究¹³⁾があるが、アメリカにおいてもライナーの設計に関する基本的方針については未だにコンセンサスが得られていない。

2.2 カナダ

カナダでは、重水炉 (CANDU 炉) 用 PCCV を対象とした研究が行われ、第 5 回 SMiRT (原子炉構造力学会議) において Alberta 大学での 1/14 縮尺モデルの水圧による破壊実験¹⁴⁾が紹介された。これを補足する実験

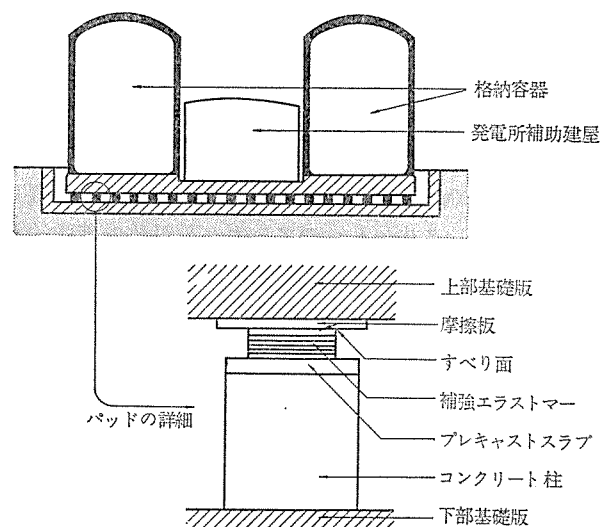
として、PC 板のシェル要素の二軸膜力載荷試験、気密性試験等が実施された。さらに、コンクリートのひびわれやクリープなどの非線形性を考慮した PCCV 解析手法の開発¹⁵⁾も進められている。しかし、PCCV の耐震性に関する研究は行われていない。

2.3 西ドイツ・イギリス

西ドイツの Grundremmingen 発電所で部分的に採用された PCCV を除いて両国で CCV が採用された実績はない。しかし、原子力発電施設への航空機の墜落を対象とした RC シェル構造の衝撃耐力に関する研究が重点的に進められており、西ドイツでは、科学技術連邦省がスポンサーとなり、Meppen において 6m×6.5m×0.9m の RC 板に最大 300m/sec の速度で最大重量 1t の物体を衝突させる実験が行われている¹⁶⁾。一方、イギリスでは、原子力庁 (UKAEA) が中心となり、西ドイツの板モデルを 1/5.6 に縮尺した小型モデルの実験を行い、スケール効果の検討を行っている¹⁷⁾。西ドイツでは、航空機の落下衝撃に対する設計基準¹⁸⁾がすでに作成されている。

2.4 フランス

フランスでは、在来の 90 万 kW クラスのシングルコンテインメントに変えて、今後建設される 130 万 kW クラスの PWR (加圧水型) 炉の格納容器は、すべてダブルコンテインメントになる予定である。これらのコンテインメントはライナーを全く用いないという斬新な構造を採用しているので、PC および RC 構造のコンクリートの気密性についての実験的な検討が進められている¹⁹⁾。さらに、フランスでは PC 鋼材にグラウトを施す唯一の国であるので、50~60m の高低差のあるところへのグラウトの注入工法の研究が行われた。また、航空機の衝突、化学プラントの爆発等の異状荷重に対する格



図—2 フランスの免震パットの構造

納容器の応答と耐力の検討も進められている²⁰⁾。フランス独特のアイディアとして、発電所全体をゴムマットの上に置き(図-2 参照)、地震エネルギーを吸収しようとする試みがあり、実際に南アフリカの Koeberg 発電所においてこの工法が試験的に適用されている²¹⁾。

2.5 ソ連・その他

ソ連においても PWR および FBR (高速増殖炉) 用に PCCV が採用されている。これらの実用化をバックアップし安全性を確認するための実験として、1/30 縮尺の PCCV モデルの内圧破壊実験²²⁾、同じ縮尺のモデルによる大開口部の全体的変形に及ぼす影響に関する試験研究²³⁾、ライナーアンカーに関する実験²⁴⁾等が実施されている。実験結果によれば、機器ハッチ、マンホール等の大開口が PCCV の変形に及ぼす影響が無視できないこと、ライナーの座屈防止にはアングル材による補剛材とアンカー鉄筋を併用するのが効果的であることなどが明らかにされている。円筒壁部と底版の間の剛結度の評価については、両者の間に可撓性のある仮想材を挿入することによって解析的に考慮することが検討されている。

ポーランドからは、六つのバットレストと二つの大開口を有する縮尺 1/10 の PCCV モデル (全高 6.5 m, 内径 4.4 m, 壁厚 11 cm) の内圧による破壊実験の結果²⁵⁾が報告されている。この試験では、設計内圧の 1.15 倍に相当する 2.4 気圧までは空気圧によって内圧を与え、モデルの弾性応答と気密性を調べた後、最終的な破壊は水圧によっているが、水漏が生じ始めた最大内圧は設計

圧の 2.5 倍となり、十分に安全であることを確認している。その他、イタリア、ベルギー、スウェーデン、チェコスロバキア等の研究も散見されるが、これらについては SMiRT, Transaction の Division J を参照されたい。

3. 我が国における研究の概要

我が国においては、昭和 45 年度から昭和 49 年にかけて、関西電力(株)によって実施された縮尺 1/5 のモデル (全高 14 m, 内径 8 m, 壁厚 0.4 m, 皿形ドーム付き 6 バットレス構造) の内圧破壊実験²⁶⁾が行われたが、これが我が国における PCCV に関する本格的な実験研究の嚆矢となったものである。このモデルは、同じく関西電力(株)によって昭和 54 年度に行われた 1/8 縮尺モデルの水平力載荷実験と並んで、モデルの規模としては、現在でも世界的にみても最大のものである。この実験により、PCCV の各種の荷重に対する弾塑性応答特性が明らかとなり、また応力解析手法の妥当性の確認がなされた。また、大型モデルの製作施工を通して、実構造物を施工する際に役に立ついくつかの経験が得られた。

昭和 50 年代に入るとともに日本原子力発電(株)敦賀 2 号炉に PCCV が採用されることが決定されるに及んで、我が国における設計基準の整備をはかる必要性から、通産省資源エネルギー庁の主宰の下に、昭和 50 年 4 月にコンクリート格納容器技術基準検討会が発足した。この間、PWR 用 PCCV および BWR 用 RCCV の試設計を行うとともに、基準(案)の審議が行われ、

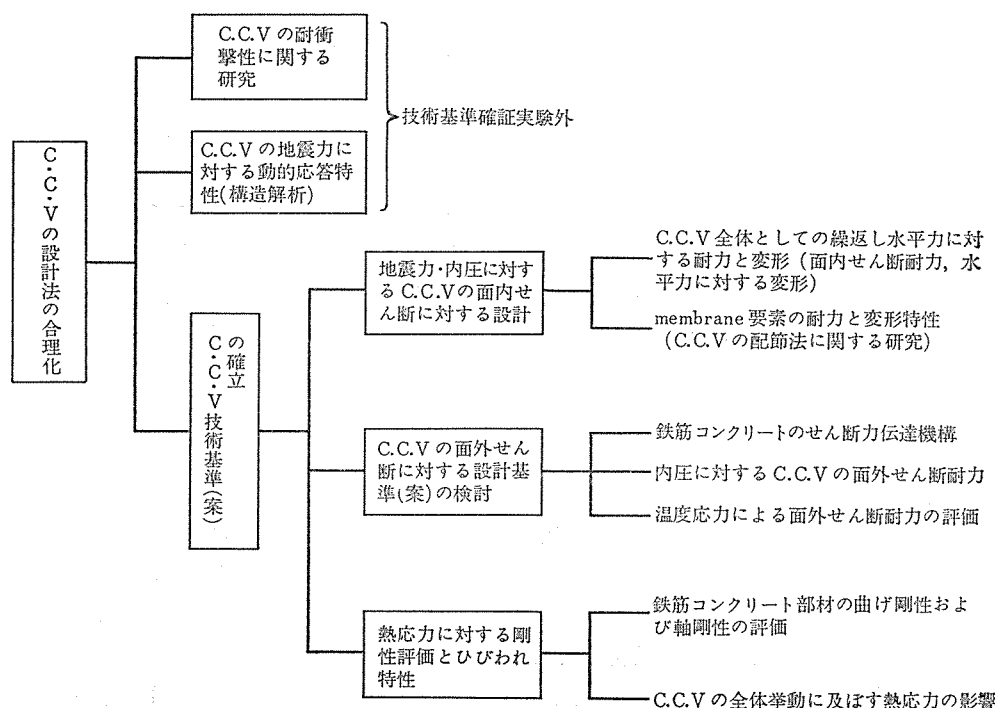


図-3 技術基準確証実験の流れ

表一1 CCV 技術基準確証実験一覧（改良標準化報告書に記載されているもの）

	実 験 項 目	試 験 体 諸 元	試験体数	実施機関	実施年度
面内せん断に関する実験	PC 円筒・内圧ねじり加力実験	$D=100, t=8, h=300$ or 100	11	関電, 大林	53
	PC 円筒・内圧水平加力実験	$D=150, t=7, h=150$ or 225	5	関電, 大成, 竹中	53
	PC 円筒・内圧水平加力実験	$S = \frac{1}{30}, D=120, t=6, h=107$	6	フジタ工業	54
	RC 円筒・内圧水平加力実験	$S = \frac{1}{25}, D=160, t=6, h=160$	7	電研, 鹿島	53, 54
	RC 平板面内力載荷実験	面積: $150 \times 150, t=10$	30	電研, 前田	53, 54
	PC ドーム付き円筒水平加力実験	$S = \frac{1}{8}, D=557, t=19, h=808$ (ドーム部含む)	1	関電, 大林	54
	PC ドーム付き円筒内圧・温度・水平加力実験	$S = \frac{1}{15}, D=300, t=12, h=462$ (ドーム部含む)	1	電研, 清水	54
面外せん断に関する実験	RC 円筒基部面外せん断部分実験	$S = \frac{1}{12}, D=333, t=15, h=150$ 開角 45° 扇形モデル	6	電研, 清水	53
	RC 円筒基部面外せん断実験	$S = \frac{1}{12}, D=333, t=15, h=150$	2	電研, 清水	54
	RC ブロックせん断実験	せん断面 15×30 および 10×20	約 300	電研, 前田	53
	RC ブロック実大断面せん断実験	実大せん断面 $1150 \times 57, D51$ 鉄筋	8	住 金	54
熱応力評価に関する実験	RC はり軸剛性評価実験	断面 20×12.5 , 長さ 380	6	電 研	53
	RC はり曲げ剛性試験	断面 40×20 , 長さ 380	21	電 研	53
	ドーム付き RC 円筒内圧・熱応力実験	$S \approx \frac{1}{25}, D=140, t=10$	2	電研, 竹中	53
	RC はり温度勾配下曲げ剛性実験	断面 40×20 , 長さ 380	4	電 研	54
	RC 円筒基部熱応力実験	$S = \frac{1}{12}, D=333, t=15, h=150$	1	電研, 竹中	54
ライナーに関する実験	ライナーアンカーせん断試験	コンクリートブロック 高さ×幅=50×30 ライナープレート 6mm or 9mm アンカー 山形鋼 山 $75 \times 75 \times 6 \sim$ 山 90 $\times 75 \times 9$	14	三 菱 重 工	53
	ライナーアンカー引張試験	コンクリートブロック 高さ×幅×長さ=79 $\times 30 \times 116.2$	8	三 菱 重 工	53

S : 縮尺, D : 内径 (cm), t : 壁厚 (cm), h : 円筒部高さ (cm)

昭和 52 年 7 月第一次原案の作成がみられた。本技術基準（案）の審議の過程において、ASME Code, フランス基準等の諸外国の基準が検討の対象とされたが、規定の根拠について不明確なところがあり、我が国独自の実験研究により基準の確証をはかることの必要性が指摘された。これを受けて通産省は、軽水炉改良標準化計画の一環として、各国の実情の調査と基準確証のための実験計画の策定を電力中央研究所に委託した。その結果は、52年度の報告書²⁷⁾として取りまとめられ、これに基づいて、昭和 53 年度²⁸⁾および昭和 54 年度²⁹⁾の 2 か年にわたり、技術基準確証実験が行われた。これらの実験の結果は、“技術基準第二次案”³⁰⁾において反映された。

技術基準確証実験の流れは、図一3 に示すとおりであって、CCV の面内せん断に対する検討、柱脚部面外せん断規定および熱応力算定上の剛性評価の問題に焦点が絞られた。各実験項目の担当機関ならびに実験実施機関

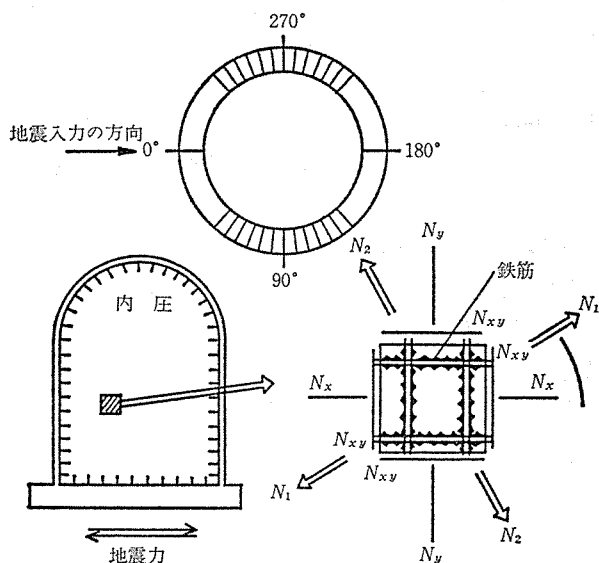
は表一1 に示すとおりである。

以下に実験の概要を項目別に述べる。

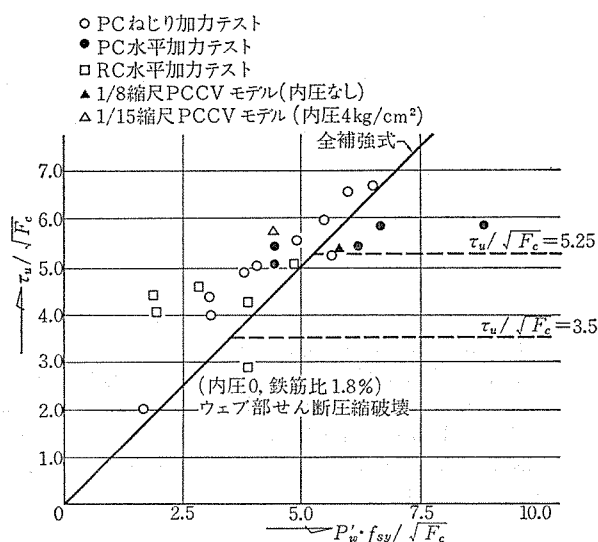
3.1 面内せん断に関する研究

CCV の地震力によって生ずる水平せん断力は、図一4 のように、主として地震入力に対し 90° および 270° の位置に近いハッチした部分で抵抗される。その基本的な抵抗機構は建築構造物の耐震壁における面内せん断力抵抗機構に類似したものである。ただし、CCV では事故時の内圧による面内軸力が作用している状態で地震による水平力を考慮しなければならないので、一般の耐震壁に比べればかなり厳しい設計条件となる。構造要素の観点からみれば、主引張力の方向と鉄筋の方向にずれ角 (α) がある場合の鉄筋コンクリート板の面内力に対する耐力ならびに変形性状の評価の問題となる。

この問題に対しては、表一1 の面内せん断の問題として分類される 7 項目の実験が行われた。円筒モデルの実



図—4 CCV における面内力作用状態



図—5 円筒モデルの水平およびねじり載荷によるせん断耐力

全補強式 $\tau_u = P'_w f_{sy}$

τ_u : 終局せん断応力度 (kg/cm²) 水平加力 = $\frac{2Q_u}{A_c}$

Q_u : 最大水平力 (kg) A_c : 円筒水平断面面積 (cm²)

ねじり加力 = $M_t / [(d_o^3 - d_i^3) \pi]$

M_t : 最大ねじりモーメント (kg·cm)

d_o : 円筒外径 (cm) d_i : 円筒内径 (cm)

$P'_w = P_w (1 - \sigma_p / f_{sy})$; 有効せん断鉄筋比

σ_p : 内圧およびプレストレスによる膜応力の和 (kg/cm², 引張を正, 圧縮を負とする)

P_w : ウェブ部鉄筋比 f_{sy} : 鉄筋の降伏点 (kg/cm²)

F_c : コンクリートの圧縮強度

験の場合に限ってモデルの終局せん断耐力をプロットした結果は、図—5 のとおりであって、水平せん断応力のレベルの低いところでは、いわゆる全補強式によって終局耐力を評価すれば、1.5 程度の安全率が確保されるが、鉄筋・PC 鋼材の補強量をいくら増やしてもせん断耐力

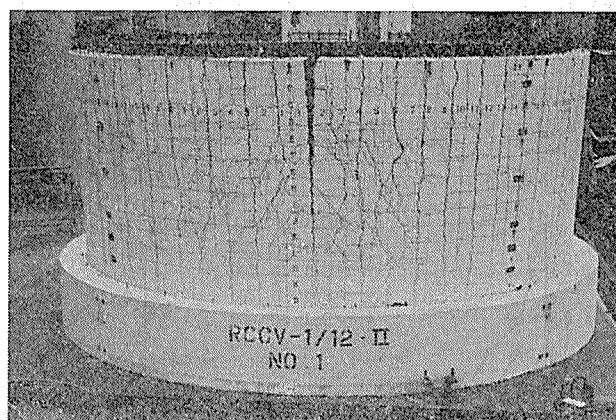
は $5.25 \sqrt{F_c}$ のあたりで頭打ちとなることが認められる。すなわち、設計上のせん断応力のレベルは、安全率を 1.5 として見込めば、 $3.5 \sqrt{F_c}$ 程度に設定できるものと考えられる。この値は、ASME Code による限界値 $2.25 \sqrt{F_c}$ に比べかなり高い値である。ここで、 F_c は kgf/cm² 単位であらわしたコンクリートの圧縮強度である。

なお、RC 板要素の面内力載荷実験からも全補強式の適用の妥当性が確かめられた。さらに、主応力方向と鉄筋の方向に大きなずれがあると、耐力的には問題がなくとも変形が著しく大きくなる場合のあることに注意する必要があることなどが示された。

3.2 CCV の面外せん断耐力の評価

CCV において問題となる面外せん断は、円筒壁と底版の境界部が一体となり剛結構造であるために生ずる面外せん断力であって、この境界部を完全固定と仮定し、弾性解析を行うと、内圧あるいは温度変化のような軸対称な荷重により著しいモーメントとせん断力が集中し、断面設計上厄介な問題となっている。しかし、この部分にひびわれが発生し、回転が生ずるようになれば、断面力の集中は緩和され、極端な場合でヒンジが形成されるとすれば、モーメントは消滅し、せん断力は半分になる。

面外せん断関連の実験としては、RCCV の 1/12 縮尺モデルを対象とし、これの 1/8 円周部分モデルならびに全円周モデル (写真—1 参照) の破壊実験を行った。実験



写真—1 全円周面外せん断試験用モデルの破壊状態 (上部円周方向筋が破断しているが面外せん断破壊は生じていない)

の結果、面外せん断破壊は非常に起こり難く、たとえこの形態の破壊が生じたとしても円周方向鉄筋が降伏した後には生じ、円周方向鉄筋が面外せん断耐力の増加に大きな寄与をすることが認められた。また、破壊性状は、梁柱のせん断破壊性状とは異なり、延性に富んだものであって、さらに、前述の円筒モデルの内圧と水平力を作用させたモデルでも面外せん断破壊を生じた例がないこと

を勘案すれば、面外せん断耐力について CCV の設計ではとくに当初考えられたほど重要視する必要のないことが明らかとなった。

なお、鉄筋コンクリートブロックによる多数のせん断力伝達試験が行われ、せん断強度の限界値が円筒モデルによって得られた値 $5.25\sqrt{F_c}$ とほぼ同等となることも確かめられた。

3.3 熱応力評価に関する実験

熱応力は、変形が拘束されることによって生ずる応力であり、終局状態では縦横にひびわれが発生し、充分に大きな変形を示すので、内圧あるいは水平力による破壊耐力に熱応力の寄与を無視して差し支えないことは容易に想像できることである。確証実験としては、縮尺を約 1/20 とした RCCV モデルを 2 体作製し、1 体を内圧のみで、また 1 体を温度勾配を与えた状態で内圧によって破壊させた。実験の結果によれば、鉄筋降伏時の内圧ならびに破壊内圧が二つのモデルにおいてほとんど相違はなく、終局限界状態の検討を行う技術基準（案）による荷重状態Ⅳにおいて熱応力を無視してよいとしている規定が妥当であることを確かめることができた。

一方、弾性解析に基づいて断面力を算定する荷重状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおいては、熱応力を無視することはできない。この場合、熱応力はひびわれによって緩和されるが、ひびわれの発生した断面の剛性をとったのでは、これを過小に評価することになる。これは、ひびわれとひびわれの間のコンクリートが剛性に寄与しているからで、ある領域での平均的な剛性に基づいて熱応力を評価しなければならない。

モーメント一定区間を長くとした開脚ラーメン型 RC

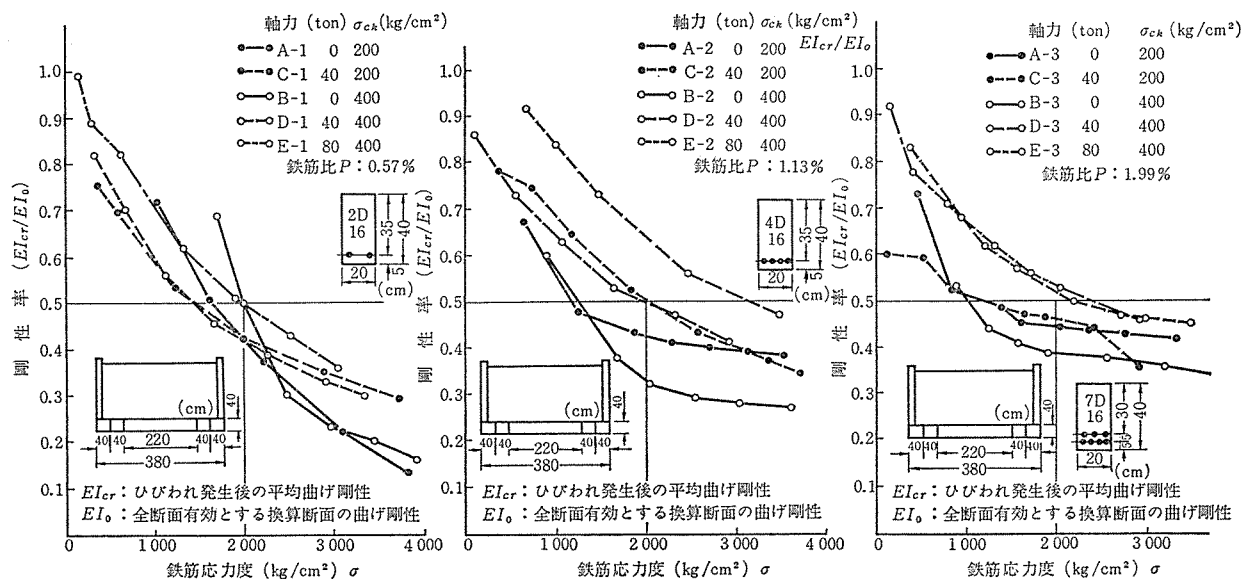
梁の単純曲げ試験（21 体）ならびに温度勾配下での曲げ試験（5 体）を実施し、モーメントと曲率の関係から剛性残存率を求め、図—6 のような結果を得た。本実験は、軸力 0~100 kg/cm²、鉄筋比 0.6~2.0% およびコンクリート強度 200~500 kg/cm² の範囲について実施したもので、実際の CCV で対象とされる応力条件を包含している。荷重状態Ⅰ、Ⅱでの鉄筋の許容応力度 2000 kg/cm² では曲げ剛性が全断面有効時の 1/2 以下に、また荷重状態Ⅲでの鉄筋の許容応力度である降伏点では 1/3 以内に低減していることが確かめられた。これらの結果は技術基準（案）の規定を裏付けるものである。

4. あとがき

紙数の都合で各研究の内容を詳しく紹介できなかったが、CCV に関する研究の内外における状況を概括した。CCV については、欧米に比べ遅れをとっていた我が国も、最近数年間の研究実績により、多くの知見が蓄積された。とくに、水平力に対する CCV の耐力と変形状態に関する研究は、地震国である我が国独自の研究として諸外国の注目を集めている。これらの実験研究の詳しい内容については、以下に掲載される各報告を参照されたい。

参 考 文 献

- 1) 青柳征夫：プレストレストコンクリートの新分野への応用と研究——PC格納容器を中心に——，コンクリート工学，Vol. 16, No. 6, pp. 70~73, 1978
- 2) R.N. White, P.C. Perdikaris, P. Gergely: Strength and stiffness of reinforced concrete containments subjected to seismic loading, Research results and needs, Nuclear Engineering and Design, No. 59, pp. 85~98, 1980



図—6 鉄筋コンクリート梁の平均曲げ剛性の実験結果

- 3) R.G. Oesterle, H.G. Russel: Tangential shear tests of reinforced concrete containment elements, Nuclear Engineering and Design, No. 59, pp. 99~112, 1980
- 4) O. Buyukozturk, J.J. Connor, P. Leombruni: Research on modeling shear transfer in reinforced concrete nuclear structures, Nuclear Engineering and Design, No. 59, pp. 67~83, 1980
- 5) N.B. Duchon: Analysis of reinforced concrete membrane subject to tension and shear, ACI Journal, Sept. pp. 578~583, 1972
- 6) Th. Baumann: Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken, Der Bauingenieur, Heft 10, pp. 367~377, 1972
- 7) A.H. Mattock: Shear transfer in concrete having reinforcement at an angle to the shear plane, ACI Special Publication SP-42-2, pp. 17~42, 1974
- 8) Y. Sarne, C.F. Reeves: Design and analysis of reinforced concrete containment structures for the base shear force, Int. Conference on Experience in the Design, Construction and Operation of PCRV & PCCV., Univ. of York, pp. 63~68, 1975
- 9) A.E. Stephenson, G.E. Sliter: Full-scale tornado-missile impact tests, Transactions of the 4th SMiRT, San-Francisco, J 10/1, 1977
- 10) C. Chan: Electric power research institute research in structural design and analysis, EPRI, personal correspondence, 1977
- 11) G. Gurfinkel: Thermal effects in walls of nuclear containments, Elastic and inelastic behaviour, Transactions of the 1st SMiRT, Berlin, J 3/7, 1971
- 12) J. Pajuhesh: Design of concrete structures for thermal effects, ACI Journal, Vol. 77, No. 2, pp. 74~77, 1980
- 13) P.L. Chang-Lo, T.E. Johnson, B.W. Pfeifer: Containment liner plate anchors and steel embedments test results, Transactions of the 4th SMiRT, San-Francisco, J 5/9, 1977
- 14) S. Rizkalla, S.H. Simmonds, J.G. MacGregor: A test of a model of a thin-walled prestressed concrete secondary containment structures, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J 4/2, 1979
- 15) D.W. Murray, L. Chitnuyanondh, C. Wong: Modelling and predicting behavior of prestressed concrete secondary containment structures using BOSOR5, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J3/5, 1979
- 16) H. Heine: Funktionweise einer gasbetriebenen Beschleunigungsanlage für Wuchtgeschosse, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J 8/2, 1979
- 17) F. Sage, A. Pfeiffer: Response of reinforced concrete targets to impacting soft missiles—An FRG-MRT-UKAEA co-operation in tests to validate computer codes and scaling laws, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J 8/4, 1979
- 18) Richtlinien für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen von Kernkraftwerken für außergewöhnliche äußere Belastungen (Erdbeben, äußere Explosion, Flugzeugabsturz), Beton-Kalender, 1975, Teil II, pp. 501~515
- 19) D. Costes: Une paroi de confinement à drainage incorporé, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J 6/1, 1979
- 20) C. Berriaud P. Verpeaux, A. Hoffmann, R. Jamet, R. Avet-Flancard: Test and calculation of the local behaviour of concrete structures under missile impact, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J 7/1, 1979
- 21) Les appuis antisismiques: SBTP パンフレット, 1979
- 22) П.М. Свердловほか8名: Защитная оболочка АЭС из преднапряженного железобетона, Бетон и Железобетон, 1976年3月, pp. 32~36
- 23) О.В. Михайлов, В.Н. Зайцев: Влияние отверстий на деформированное состояние железобетонной защитной оболочки АЭС, Бетон и Железобетон 1976年8月, pp. 8~11 (コンクリート工学, Vol. 16, No. 11 に抄訳あり)
- 24) А.П. Кирилловほか4名: Конструкция герметизирующей облицовки защитной оболочки АЭС, 1977年6月, pp. 9~11 (コンクリート工学 Vol. 17, No. 2 に抄訳あり)
- 25) K. Dontenほか3名: Results of strength tests on a 1:10 model of reactor containment, Transactions of the 5th SMiRT, Berlin, J 4/8, 1979
- 26) 大野大明, 渡部 威, 長野秀二郎, 松井 豊: プレストレストコンクリート原子炉格納容器の実験報告, 土木学会誌, 1972年10月, pp. 23~29
- 27) 電力中央研究所: 原子力発電設備改良標準化調査報告書——コンクリート格納容器の事故時及び地震時の耐力, 通商産業省資源エネルギー庁委託, 1978年3月
- 28) 電力中央研究所: 昭和53年度原子力発電設備改良標準化調査報告書——コンクリート格納容器技術基準(案)確認のための実験結果の検討——, 通商産業省資源エネルギー庁委託, 1979年3月
- 29) 電力中央研究所: 昭和54年度原子力発電設備改良標準化調査報告書——コンクリート格納容器技術基準(案)確認のための実験結果の検討——, 通商産業省資源エネルギー庁委託, 1980年3月
- 30) 資源エネルギー庁: 原子力発電用コンクリート格納容器に関する技術基準(案), 1979年11月