

電力中央研究所 西崎博俊
正 田 忠 顕

1 序 現在建設されつつある2, 3の原子力発電所においては, 鋼製の一次格納容器を底板コンクリートマットに固定するために, コンクリートマットの厚さ方向の中間に定着されたアンカボルトを使用している。即ち図1に示すように, 適当な長さのアンカボルトとアンカボルトの先端に固定されたリング状のアンカプレートとを, 底板コンクリートマット中に埋設し, コンクリートの付着抵抗なしし, 引張抵抗, 或いは鉄筋の補強作用によって, ボルトの引抜耐力, 抗させる手法をとっている。このようなアンカ構造の引抜耐力に関する研究は, 従来殆んどなされておらず, あらためて実験・検討が必要となってきた。本報告は, 実構造物から, 二次元的に取りだした大型模型(実物の $1/2 \sim 1/4$)試験体について, ボルト引抜き実験を行い, その結果にもとづいて, ボルト定着部の安全性を論じたものである。

2 試験方法 鋼製格納容器は, 図1(a)に示したように, 直径30"前後のドーム状の構造物で, 円形状の底部を, 軸対称状に配置された500本ないし700本のボルトが底板コンクリートマットに固定している。作製した試験体は, ボルト部分を図1(b)に示したように切りだした形となっており, 高さ2m, 巾50cm, 長さ5m~7m, ボルトの埋め込み深さは50cmである。(図2参照) 作製した試験体は, 全部で4種類であり, No.1 上端筋の配置されているもの, No.2 配置されていないもの, No.3 アンカプレートの近傍に補強筋が配置されているもの, No.4 プレストレスがアンカボルトの極く近傍に導入されているもの(これは, 格納容器の周囲のコンクリート製底へい壁の重量を考慮したもの) No.5 アンカボルトが試験体底辺迄貫通しているもの等である。(表1参照)

載荷方法は, 下記方式とした。即ちアンカボルトが繋結されている鋼板を, 載荷ビームに図2に示すように接続し, 載荷ビームの他端を300Ton アムスラー試験機で押し下げる事によって, ボルトに引抜耐力を与える方法をとった。

3 実験結果とその考察

3.1 破壊様式

No.5の試験体を除いて, No.1~No.4の試験体は ほぼ類似の破壊モードを示した。それを代表的にNo.2試験体について, 破壊の様相を記す。(図3参照) No.2試験体の場合は, 載荷重74Tmの時, 支承側(載荷端)のプレート端から65°(鉛直軸から)の角度の斜ひびわれ, 支承と反対側のプレート端から水平ひびわれが, 同時に発生し, 78Tmで急激に各方向に進展して両者とも, 上端筋の配置位置迄達した。又; 上記の2本のひびわれ発生と同時に, 鉛直ひびわれがコンクリート上面の数箇所から発生するの

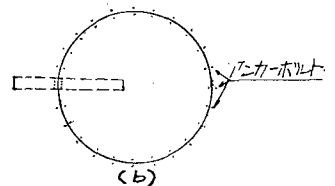
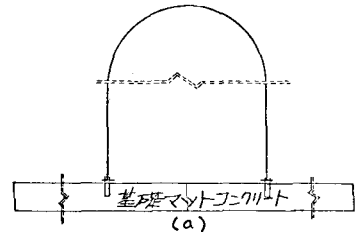


図1 格納容器アンカ部概略図

表1 試験体及び試験結果

試験体番号	種類	アンカボルトの長さ	上端筋の量	アンカプレート周辺の補強筋量	コンクリートの圧縮強度	初期ひびわれ荷重 (Ton)	終荷重 (Ton)
No.1	無筋コンクリート	50cm	0	0	29.3	12.1	66
No.2	上端筋の配置なし	50	16D13 8.57%	0	22.7	14.2	74
No.3	上端筋の配置あり	50	8D13(50) 32.0.41%	5D13(50) 35.0.25%	22.2	22.3	72.5 (54)
No.4	上端筋の配置あり	50	0	0	24.1	17.4	84.1 (78)
No.5	上端筋の配置あり	200	0	0	25.6	19.1	438.4 ⁹³

*1 () の荷重でひびわれが發生した荷重の中心にて, ひびわれが中心にわたって引張力に達した時の荷重である。
*2 No.5の試験体は, No.1, No.4の初期ひびわれに相当するひびわれ無し。
*3 2本は初期破壊時の限界荷重。

のが認められたが、上は筋が配置されてい
るため、このひびわれの進展はそれ程甚だ
しくなかつた。その後はボルトが引抜かれ
てゆくに従つて、斜ひびわれ、及び水平ひ
びわれ巾が増大するのみで、載荷重は 0.2
 T_m 以上には増加しなかつた。

No.1 ~ No.4に亘る試験体は、ひびわれ発
生荷重を別にすれば、いずれも上記と同様
であるので、この種のボルト定着部の典型
的な破壊モードは、支承側(載荷端側)の
プレート端からほぼ 60° の角度で上向斜
ひびわれ、支承の反対側のプレート端から
水平な方向に発達する水平ひびわれ、ボルトに沿つて
鉛直下方向にむかう鉛直ひびわれのほぼ同時の形成で
ある事が判明した。上は筋が配置されていない場合に
は、鉛直ひびわれの発達が著しく、過早に耐力を失う
事、上は筋が配置されている場合は、鉛直ひびわれ
の発達が抑制されて、斜ひびわれ、水平ひびわれの大
巾な発達が終局耐力を決定する事が示された。これら
の破壊モードを解析するために逐次破壊を考慮した有
限要素法によつたが、ある程度のモード解析が可能で
ある事が判明した。

3.2 初期ひびわれ耐力の判定条件に關す
る考察 3.1に述べた破壊モ
ードのうち、プレートの両端から発生するひ
びわれは明らかにプレートのエッジにおけ
る応力集中によるものと考えられる。プレ
ート近傍の応力は位置がわずかに異なる事によ
つて大巾に変化する事が予想されるにも拘
らず貼布したW、Sゲージの数は限られて
おり、かつ、測定値は表面歪の値であつて
、厚さ方向の平均値を示してゐない場合も
あり得る。そこで実験とともに、解析手法
を併用して、プレート近傍の応力集中の程
度を考察した。用いた解析手法は決定要素
を用いた有限要素法による弾性解析である。

プレートの極く近傍においては、コンクリートが塑性化し、塑性領域となつてゐると思われるので、より合理的な方法としては、弾塑性解析の適用が必要であらう。しかし、本研究の場合には、初期ひびわれ荷重の大体の目安をつける事が、まず第一の目的なので、弾性解析のみによつて歪を計算し、初期ひびわれ時の測定歪と比較した。この様な計算によつて得たNo.2試験体の場合の主要引張歪分布を1例として図4に示したが、プレート端

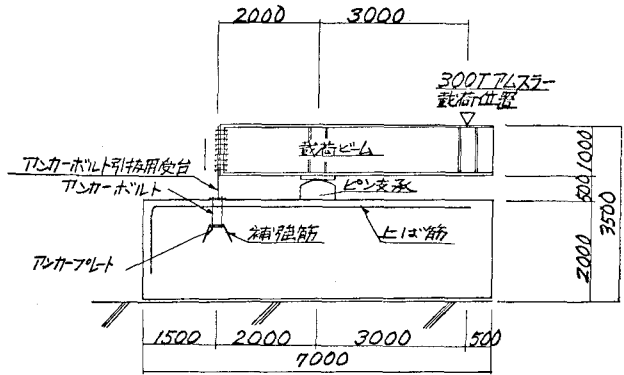


図2 試験体及び試験方法

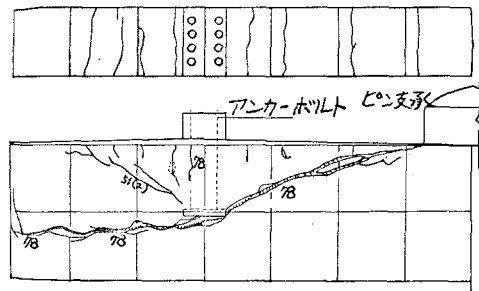


図3 No.2試験体のひびわれ進展図

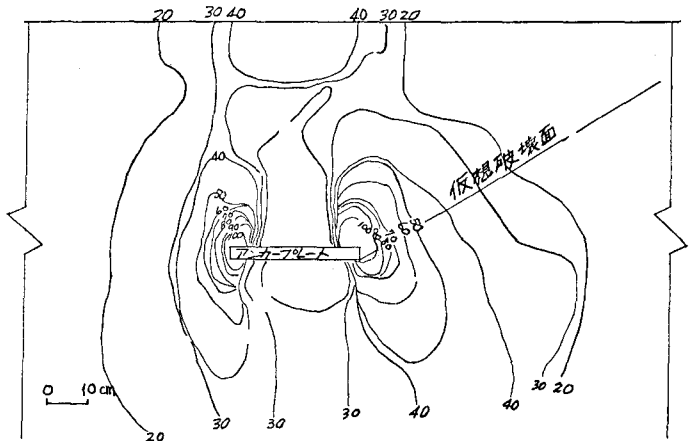


図4 No.2試験体アンカープレート周辺の主要引張歪分布(10⁻⁴)
引抜力=50Tm

の極く近傍10^{cm}~15^{cm}の範囲における応力集中の甚だしい事が示されている。この図よりプレート端から60°の方向(鉛直軸から)の各位置における主引張歪の計算値を求め、実測値と比較して図5に示したが、実測点がある範囲においては、実測値と計算値は大おお一致している。そこで、図6に、この計算による初期ひびわれ時の主引張歪分布を、No.2, No.3, No.4の試験体について示したが、初期ひびわれ荷重が異なるにも拘らず、分布は一致している。これは、アンカープレート上部上ば筋が十分配置されているか、或いは遮へい壁の様な重量構造物がアンカーボルトのごく周辺に存在するかして、鉛直方向ひびわれの発達を抑制されている場合には、プレート近傍における主引張歪分布が図6と同程度になる。た時ひびわれが発生する事を示してゐると考えられた。以上の事から、実構造物においても、アンカープレート周辺の主ひびみ分布がある限界状態に達した場合に初期ひびわれが発生すると判断する事が可能であろう。その場合、初期ひびわれ時の主引張歪の限界状態の一つの表示として、主引張歪が弾性限界を越えた領域、即ち、塑性化領域の大きさを用いる事が一つの方法と考えられる。その様にすれば、各種の寸法、各種の荷重状態に対して、主引張歪分布曲線が勾配必要。ても、統一的に初期ひびわれ荷重の判定条件を求める事が可能と思われる。

本実験に於いて、弾性限界の引張歪として 80×10^{-6} を用い、60°の破壊断面方向に初期ひびわれ時塑性化領域の大きさを求めれば15^{cm}程度になる。この判定条件を用いれば計算によって自動的に各種のアンカーボルト・プレート構造の初期ひびわれ耐力が求められる。本実験で求めた初期ひびわれ時の塑性化領域の大きさは、ボルトの埋め込み深さによって異なり、必ずしも一定でないと思われるので、今後深さの影響の検討が必要と思われる。

以上を要するに、初期ひびわれ荷重の判定条件として、応力集中領域に於ける塑性化領域の大きさを用いる方法を提案したのである。その具体的な数値については、今後の検討が必要である。

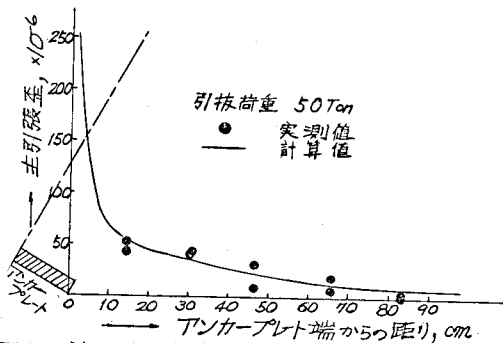


図5 No.2・No.3試験体の仮想破壊断面における歪分布

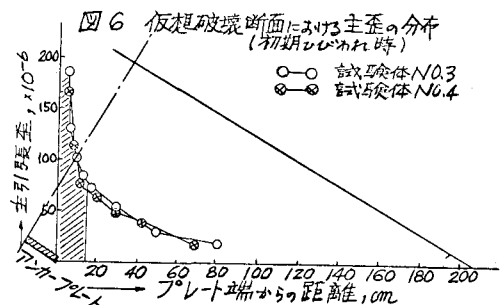


図6 仮想破壊断面における歪の分布 (初期ひびわれ時)

○ ○ 試験体 No.3
● ● 試験体 No.4