

前田建設 技研 正・山田一宇
電力中央研究所 正 青柳征夫

1. はじめに

原子力発電所のプレストレストコンクリートあるいは、鉄筋コンクリート格納容器においては、事故時内圧または、温度応力によって、ひびわれが発生した状態で地震力などの水平力を受ける場合がある。このようなコンクリートシェル構造のひびわれを介するせん断力の伝達機構については、十分な究明がなされているとはいえない。本研究は、コンクリート製格納容器のせん断力に対する耐力の評価を合理的に行うための基礎的データを、提供することを目的とし、せん断面に直角に鉄筋を配置した一面せん断試験を行い、その結果をとりまとめたものである。

2. 実験概要

実験に使用した試験体は、図-1に示すような、間接一面せん断試験体である。Scale effect をも調べるため、大小2種類の試験体を各2ヶつつ同一条件で試験した。又、せん断面に鉛直に外力を作用させるため図-1(c)の試験体を用い、各種荷重段階の試験を行った。せん断鉄筋の鉄筋比は0~5.09%まで変化させ、せん断面には、あらかじめ、ひびわれを入れたもの、入れないものをそれぞれ同一条件で試験した。この種の試験に用いた試験体は、約60体である。使用骨材は、最大骨材寸法20mmの碎石と川砂であり、使用セメントは、早強ポルトランドセメントである。コンクリートの種類は $w/c=50\%$ (410 kg/cm^2) と $w/c=77\%$ (210 kg/cm^2) の2種類であり、試験体の養生条件は、脱型後、散水養生とした。強度管理は同一養生条件の $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 供試体により行い、試験当日には圧縮強度、圧裂引張強度、弾性係数等を測定した。

3. 実験結果とその考察

せん断面と直角に鉄筋が配置されたときのせん断耐力の算定式に Mattock 教授の提案する式があるが、この式に基づいて本実験の結果をプロットすると図-2のとおりとなる。すなわち $P/f_y + \frac{N}{b\alpha}$ が 75 kg/cm^2 以上では、せん断耐力が頭打ちとなり、この式の適用ができなくなる。一方、せん断破壊直前の鉄筋のひずみの実測値から計算した鉄筋の応力度 f_{sm} を f_y の代りに用い実験結果をプロットすると図-3のようになり、せん断面に直角に作用する応力度とせん断強度が線形の関係となり、鉄筋比が大きい範囲では、必ずしも鉄筋が降伏しているのではないことを示唆している。White^①, Taylor^②, Fenwick^③ らの研究によれば、せん断耐力に最も大きく寄与するのは、いわゆる Aggregate Interlock であって、しかも限界値は、せん断面に生じているひびわれ中に支配されると報告されている。

図-4は、1部の供試体について、せん断面にあらかじめひびわれを入れたものと、入れないものについて、X-Yレコーダーによりせん断力と水平方向の変位（ひびわれの開きに相当）を連続的に記録した結果を示したものである。この図より、せん断荷重が比較的小さなある一定の値までは、ひびわれの開きが小さく、ひびわれ間のミクロな凹凸がせん断力の伝達に有効に働くが、この荷重を越えると、マクロな Aggregate Interlock

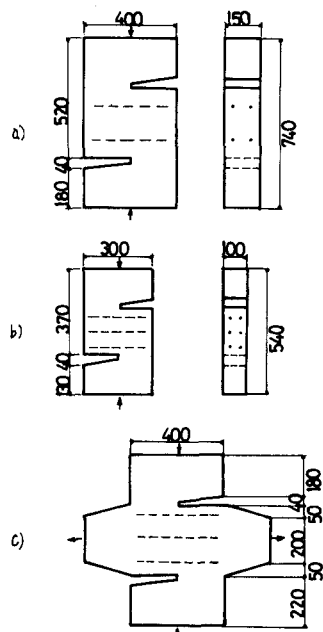


図-1. 試験体

がききだし、ひびわれ巾の急激な増大を示すことがわかる。なお、破壊時のひびわれ巾は、あらかじめ、ひびわれを入れたものと入れないものでは、若干の差が認められるが、ほぼ一定値0.5~0.7mmとなっており、White等の結果が裏付けられた。

つぎに、せん断面に直角に鉄筋が横切っているとき、ある一定のひびわれ巾において、せん断破壊が生ずるという上記の仮説を鉄筋とコンクリートの間の付着特性の観点から説明するため、同一条件の試験体について、せん断鉄筋の一部を降伏点規格の同じ丸鋼におきかえ、その部分にグリースを塗布し、付着をなくした試験体のせん断破壊実験を行った。図-5は、付着をなくした部分の長さ、せん断耐力の関係を示すもので、付着をなくした部分を長くするほど、せん断耐力の減少が見られ、全長にわたって付着を切った場合には、全長に異形鉄筋を用いた場合に比べ、20%もの耐力が減少している。このことは、付着のない部分が長い程、鉄筋の抜け出し量が多くなり、その結果、ひびわれ巾を増加させ、低い荷重レベルで破壊が生ずることを実証しているものと思われる。

4. まとめ

以上の実験結果を総合的に判断すると、鉄筋コンクリート部材のせん断伝達に際しては、ひびわれ部をとめて、ひびわれ巾がある一定値になるまで、骨材のインターロック作用、ダボ作用等が有効に働くが、インターロック作用が、その内の大きな要因を占めているように思われる。これらのせん断破壊機構に立脚したせん断耐力算定式について、現在、検討を進めている。

この実験を進めるに際し、東京大学岡村南博士、山崎淳博士に多大のご指導をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

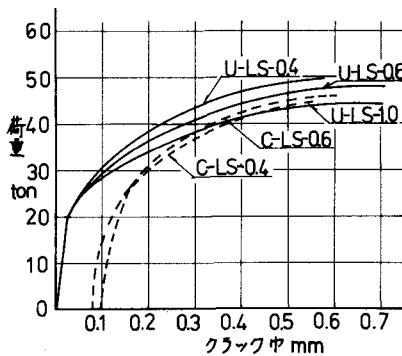


図-4.せん断荷重と水平変位(ひびわれ幅)の関係

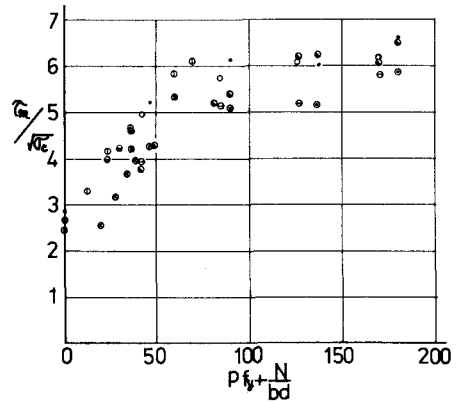


図-2. Mattockの式によるせん断耐力の比較

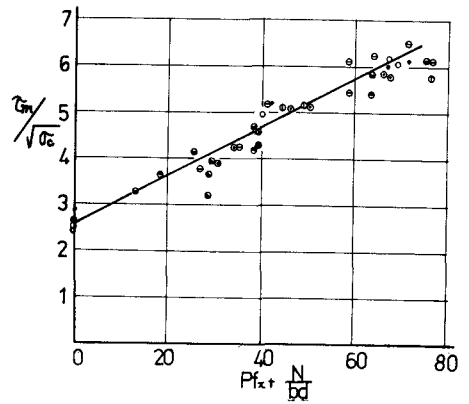


図-3. 鉄筋の実測応力によるせん断耐力の比較

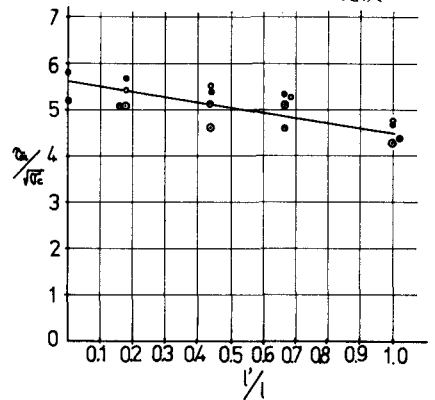


図-5. せん断鉄筋の有効付着長さがせん断耐力に及ぼす影響

参考文献

- (1) White 他 Experimental investigation of seismic shear transfer across cracks in concrete nuclear containment vessel SP53-9
- (2) Taylor The fundamental behaviour of reinforced concrete beams in bending and shear SP42-3
- (3) Fenwick The shear strength of reinforced concrete beams