

WALL FOUNDATION による耐震架構の開発研究 (その3)

——面外曲げの作用した地中壁と地中ばりとの接合部の直接せん断実験——

菊地利武 小嶋克朗
武田寿一

Development Study on Aseismic Basement Structure by Underground Diaphragm Walls (Part 3)

——Direct Shear Tests of Connections between
Cast-in-Situ Diaphragm Walls and Underground Beams——

Toshitake Kikuchi Yoshiro Kobatake
Toshikazu Takeda

Abstract

The objective of this study is to perform structural investigations on an aseismic basement structure using underground diaphragm walls and propose a rational designing method for such a basement structure. This paper is concerned with direct shear tests under bending shear out of plane on connections using a special keyed shear joint (JOF method). These tests were performed in order to investigate influences on structural capacity of bending shear out of plane. Based on these test results, it could be considered that there was a slight influence of the test factor on stiffness but no influence on shear strength.

概 要

この研究の目的は、地中連続壁による地下構造体 (WALL FOUNDATION¹⁾) における、支持ぐいを含む地下外周耐震架構の構造性能を検討し、その合理的な設計法を提案することである。この報告は、地震時水平力によるくい頭部の面外曲げが作用した場合の、JOF工法²⁾による地中壁と地中ばりとの接合部の鉛直荷重に対する構造性能に関するもので、実際の応力状態を模擬した実大接合部の直接せん断実験によって、面外曲げが接合部の強度と剛性に与える影響を検討するとともに接合部の設計法について述べたものである。実験結果から、接合部の剛性は、面外曲げの増加とともにやや低下するが、せん断耐力は、面外曲げによる顕著な影響を受けないことが分かった。

1. 序

WALL FOUNDATION¹⁾ (OWS-SOLETANCHE工法によって構築した鉄筋コンクリート地中壁体に、地下外壁、耐震壁および支持ぐいなどの構造機能を単独またはその組み合わせでもたせた地下構造体の通称、以下、WFと略記) による地下構造体において、鉛直荷重の支持ぐいへの伝達は、1階外周ばり、地中壁面と本体構造の柱との打継面および JOF 工法²⁾ による地中壁と本体構造部材との接合部 (以下、JOF 接合部と呼ぶ) などのせん断耐力の組み合わせによるのが一般的である。

WF が支持ぐいとして機能し、地震時水平力による面外力を受けた場合、地中ばりと支持ぐいをつなぐ JOF 接合部には、図-1 に示したような面外応力が作用すると考えられる。実際の設計において、この面外応力の影響を考慮する場合、くい頭部のせん断力と曲げモーメントによって生じる引張力が、JOF接合部の最下段の接合鉄筋に作用するとして設計上評価している。

この報告は、建物外周の WF ぐいに、地震時水平力による面外曲げが作用する JOF 接合部における鉛直荷重の伝達能力を把握するために、実際の応力状態を模擬した実大模型による直接せん断実験に関するもので、面外

曲げが JOF 接合部の面内せん断耐力や剛性に及ぼす影響と、面外応力の作用するJOF接合部の設計について検討したものである。

2. 実験の概要

2.1. 試験体

試験モデルの概念図と試験体の形状、寸法および配筋を図-2と3に、試験体一覧を表-1に示す。

試験体は、地震時水平力が地中ばり位置で支持ぐいに、地中壁面と直角方向に作用する場合を想定して、JOF接合部における鉛直荷重の伝達能力への影響を知るためにモデル化したもので、地震時水平力に相当する面外方向に作用する荷重(以下、面外力と呼ぶ)をパラメータとする合計5体である。

面外力Pは、10、20、30および40 tonに、比較のための面外力のないものを加えた5種類である。これらのPは、地中壁コンクリートの長期許容せん断応力度 f_{fs} $\{3.75 + (3/400)F_c, F_c = 210 \text{ kg/cm}^2\} = 5.33 \text{ kg/cm}^2$ の約0.5、1.0、1.5および2.0倍に相当する。面外力によって生じる面外曲げモーメントMは、シャースパンを加力点に最も近い接合鉄筋位置までの距離(a=80 cm)と仮定すると、それぞれM=8、16、24および32t・mとなる。なお、試験体名S・2-16は、2が面外力P=20 tonを、16が面外曲げモーメントM=16t・mを表わしている。

地中壁と地中ばりとを想定した部材相互の JOF 接合部には、歯型効果¹⁾でせん断耐力を発揮するように、長さl=50 cmの歯型3個を形成し、1個の歯型に接合鉄筋として2-D25(接合鉄筋比 $P_s = 0.53\%$)を配した。また、接合面側の地中壁の主筋には、最大32 t・mの面外曲げに対して、約2倍の曲げ耐力を保有するように8-D25を配した。

試験体の製作は、まず、地中壁を JOF 接合部が下面になるように平打ちで製作し、次いで、コンクリート養生後に、地中壁を反転して接合面を上向きにし、地中ばりに定着する接合鉄筋をガス圧接してから、上方から地中ばりを打継ぐ手順で行なった。

2.2. 使用材料

接合鉄筋と地中壁の主筋に使用した異形棒鋼D-25の性質を表-2に示す。コンクリートには、普通コンクリ

試験体名	面外力P	面外曲げモーメントM
S・0-0	0ton	0t・m
S・1-8	10 "	8 "
S・2-16	20 "	16 "
S・3-24	30 "	24 "
S・4-32	40 "	32 "

表-1 試験体一覧

鉄筋	降伏点強度 s_{0y} (kg/cm ²)	引張強度 s_{0max} (kg/cm ²)	ヤング係数 $sE \times 10^6$ (kg/cm ²)
D-25	3,570	5,810	1.79

コンクリート	圧縮強度 c_{0a} (kg/cm ²)
地中壁	266
地中ばり	356

表-2 使用材料の性質

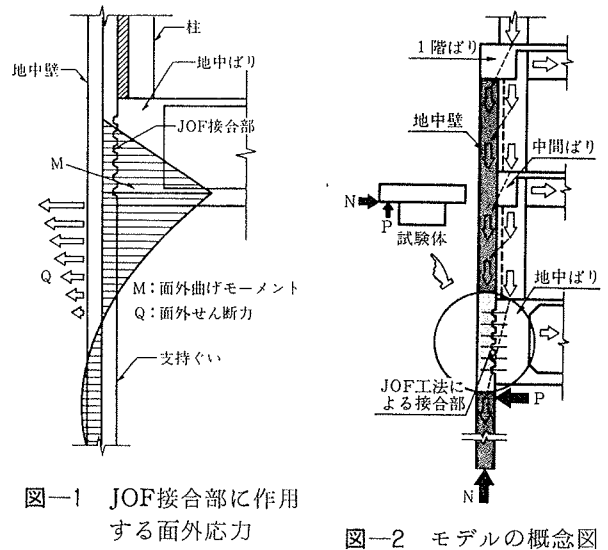


図-1 JOF接合部に作用する面外応力

図-2 モデルの概念図

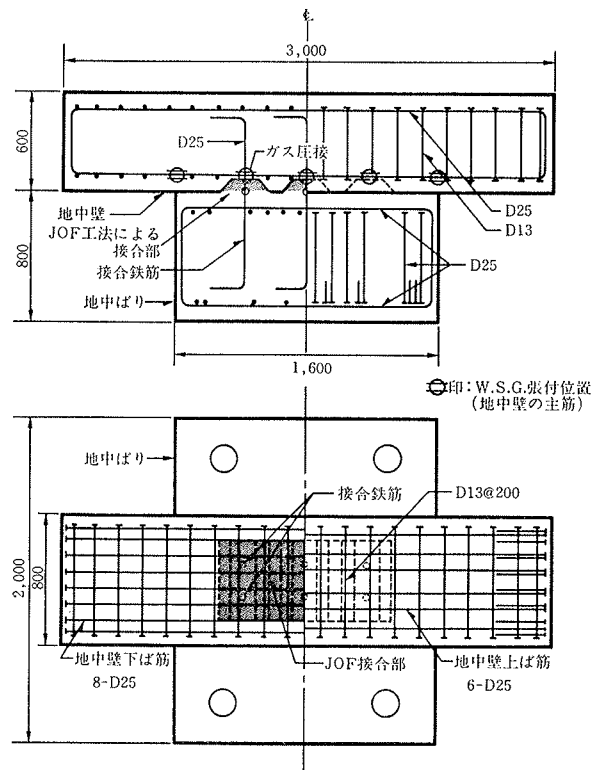


図-3 試験体の形状、寸法および配筋

ートを使用した。なお、実験時における圧縮強度の結果を表-2に示す。

2.3. 加力と測定方法

加力方法を図-4に示す。

加力は、地中ばりを試験床に締付けて固定し、試験床に反力をとって加えた面外力を所要の値に保つように制御しながら、鉛直荷重に対するくい反力Nに相当する面内方向の荷重(以下、面内力Qと呼ぶ)を、鋼製治具を用いて加力芯と接合面とが一致するように加える方法を採用した。面内力を加えることで、地中壁に

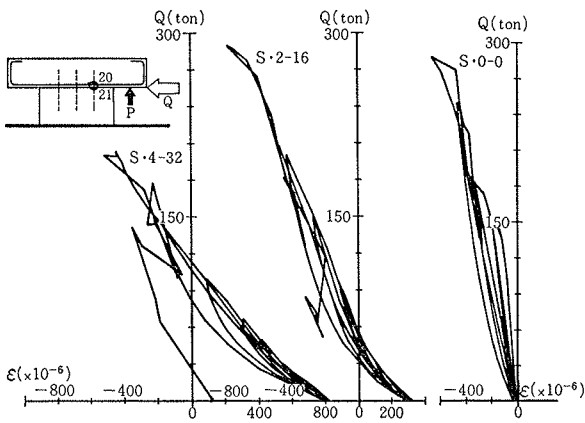


図-7 せん断力 Q～ひずみ ε 曲線

壁と地中ばりとの接合面に一致させる加力方法を採用したことにより、地中壁には面内力の大きさに応じた偏心圧縮力が作用し、これによって生じる圧縮応力が働いていることによるものである。

図-8のひずみ分布性状は、面内力の増加とともに圧縮ひずみが累加しており、圧縮応力が作用していることを示している。しかし、いずれの試験体も、ある荷重レベルで、面外力の加力点から最も遠い接合鉄筋位置(④)におけるひずみが、せん断力の増加にもかかわらず、圧縮ひずみから引張ひずみへと移行している。これは、相対すべりの増加に伴って、地中壁の応力状態が変化したことによるものであろう。

3.5. JOF 接合部の設計

地震時水平力による面外曲げが作用するJOF接合部の面内せん断耐力は、面外せん断力が地中壁コンクリートの平均せん断応力度で $\tau=8.0 \text{ kg/cm}^2$ 程度で面外曲げモーメントが $30\text{t} \cdot \text{m/m}$ までは、ほとんどその影響を受けておらず、地中壁と地中ばりとは打継面積の0.2%以上の接合鉄筋で接合されている場合には、設計上、面外曲げを特に考慮する必要はないと思われる。しかし、剛性の面からみると、面外曲げが増加するに従って剛性低下の割合が大きく、その影響が認められ、面外曲げのレベルによっては設計上の配慮が必要といえる。面外曲げが大きい場合の JOF 接合部の設計にあたっては、くい頭部に作用するせん断力と曲げモーメントに基づいて、3.2. で述べた方法を用いて求めた最下段の接合鉄筋位置に作用する引張力を、接合鉄筋量に反映させて評価できる。設計としては、引張力を負担する鉄筋を接合鉄筋に付加

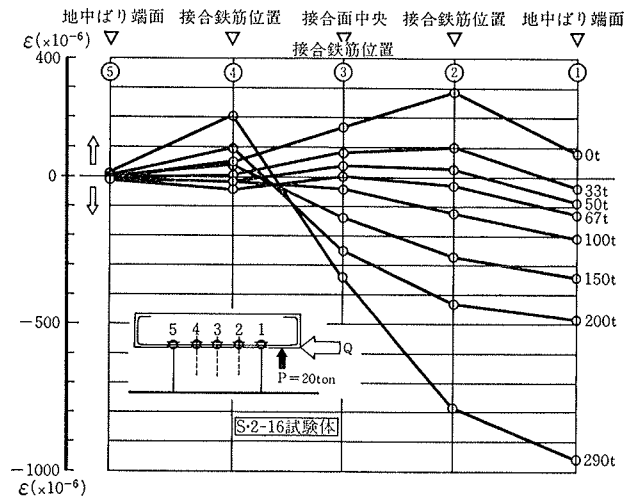


図-8 地中壁の主筋のひずみ分布

する方法、或いは、引張力を負担する鉄筋量を接合鉄筋から差し引いた有効鉄筋比で、JOF 接合部のせん断耐力を再評価する方法が考えられるが、いずれにしても、面外曲げが大きく接合鉄筋量が少ない場合の JOF 接合部の設計には、十分注意する必要がある。

4. 結び

支持ぐいを含む地下外周の耐震架構の構造性能を把握する実験的研究の一環として、地震時水平力によるくい頭の面外曲げが作用する実際の応力状態を模擬した、JOF 接合部の実大模型による直接せん断実験を行ない、面外曲げが接合部の構造性能に与える影響を検討した。

この結果、①接合部の剛性は、面外曲げの増加とともにやや低下するが、終局せん断耐力は、面外曲げによる顕著な影響を受けないこと。②面外曲げが作用する接合部の終局せん断耐力は、接合鉄筋量から面外曲げによる応力を負担する鉄筋量を差し引いた有効接合筋量を用いて、安全側に評価できることなど、面外曲げを受ける JOF 接合部の構造性能と設計上の知見を得ることができた。

参考文献

1) 武田, 小畠: 地中連続壁の地下構造体としての利用, コンクリート工学, Vol. 13, No. 2, (Feb. 1975), pp. 12~21