

天井に生じる慣性力を負担する壁に関する研究

(その4)スタッドの捩り耐力評価

正会員 ○小林 俊夫¹

キーワード：鋼製下地 天井 スタッド 捣り 摩擦

1. はじめに

耐震天井の工法の一例として、天井の地震時水平力を周辺の間仕切壁に負担させるケースを想定し、壁の構造特性を把握することを目的として壁に対する静的水平加力実験を実施した。スタッドは該当階床上と上階床下に設置したランナーで支持することを想定した。ボードに関して天井レベルより下部に張り、天井裏部分には張らないケースでは天井裏のボードが張られていない部分のスタッドに捩り現象が発生し、その結果スタッド頂部がランナー内を壁の面内方向にすべり出す現象で壁の水平耐力が特徴付けられた。本報ではその現象を定式化し、すべり限界状態でのスタッドとランナー間の摩擦係数を求め、天井からの水平力負担に対する壁の水平耐力評価の基礎データとした。

2. 実験結果

図1に使用スタッドWS90とWS65とのそれぞれの試験体に対するジャッキ加力と加力部変位のグラフを示す。加力中の目視によると、加力当初よりスタッド頂部には捩りが生じていたが、加力と反対側のスタッドとランナーの接触部(図2のP、以下同様)で滑りは発生せず、加力側のスタッドとランナーの接触部(Q)で滑ることにより捩り変形が進んだ。捩り変形の進行により捩り中心(S)が壁の面内方向に下部固定の片持ち梁として強制変形され、その反力が(P)部で摩擦力 F_H として壁の面内方向に捩りを抑える方向に作用する。加力が進み静摩擦限界に達すると(P)部にすべりが生じ、捩り変形を抑える効果が低下し捩り変形が顕著に進行した。その結果、図1における(*)印で一時耐力が頭打ちとなり水平変形が顕著に進んだ。

さらに加力を進めると全てのスタッド頂部が90°回転した後に再び耐力が増加し、(*)印レベルの耐力まで回復した後に加力位置でスタッドに局部座屈が発生し、終局に至った。スタッドのランナーからの外れは発生しなかった。

本報での解析は(*)印を対象としたが、(*)印で破壊が生ずることなくエネルギー上はさらに吸収能力がある。

3. 定式化

図2(リップを省略表示、データでは考慮)に捩りと並進に関する各種パラメータの定義をそれぞれ分離して示す。

スタッド頂部の捩り中心S周りには次の4種類の捩りモーメントが作用している。

M1：ジャッキ加力による変位(δ_f)に対するランナーからの反力に起因する捩りモーメント(右回り)

M2：スタッドが(P)部で滑らずに捩りが生じることにより、捩り中心(S)が壁の面内方向に(図では右方向に)強制変形される。その反力が(P)部で摩擦力 F_H として作用することに起因する捩りモーメント(左回り)

$$F_H = 3EIyD(\sin(\xi + \theta) - \sin \xi)/l^3 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} M2 &= F_H * D \cos(\xi + \theta) \\ &= 3EIyD^2(\sin(\xi + \theta) - \sin \xi) \cos(\xi + \theta)/l^3 \end{aligned} \quad (2)$$

M3：スタッドの捩り剛性による復元力(左回り)

$$M3 = K_\theta \times \theta \quad (K_\theta : \text{スタッドの捩り剛性}) \quad (3)$$

M4：ランナーの開き(δ_θ)に対する抵抗力に起因する捩りモーメント(左回り)

M1とM4はランナーからスタッドに(P)部と(Q)部で作用する力 F_k^+ と F_k^- から生ずる捩りモーメントM0から次のように分離される。

$$\begin{aligned} M0 &= F_k^+ * B^+ - F_k^- * B^- \\ &= (\delta_\theta + \delta_f) * k * B^+ - (\delta_\theta - \delta_f) * k * B^- \\ &= k \delta_f (B^+ + B^-) - k \delta_\theta (B^+ - B^-) \\ &= k \delta_f (D \sin(\xi + \theta) + 2\Delta \sin(\zeta - \theta) + D \sin(\xi + \theta)) \\ &\quad - k \delta_\theta * 2\Delta \sin(\zeta - \theta) \\ &= 2k \delta_f (\Delta \sin(\zeta - \theta) + D \sin(\xi + \theta)) \quad (= M1) \\ &\quad - 2k \Delta^2 \sin(\zeta - \theta) (\cos(\zeta - \theta) - \cos \zeta) \quad (= M4) \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、kはランナーの開き加力に対するばね定数で、WS-90を例として図3に示す実験結果より表1のように求めた。また δ_f はジャッキ加力に対するスタッド頂部の負担反力fによるランナーの開き変形で(5)式で与えられる。

$$\delta_f = f / (2k) \quad (5)$$

スタッド頂部の捩り中心周りの捩りの釣り合い式は(6)式となり、これを θ について解くと図1の(*)印における捩り角 θ_0 が求まる。

$$M1 = M2 + M3 + M4 \quad (6)$$

捩り角 θ_0 のときの(P)部における軸力 F_k^+ は(7)式で、さらにこれと摩擦力 F_H (=(1)式)とから、静摩擦係数 μ が(8)式で与えられる。

$$F_k^+ = (\delta_\theta + \delta_f) * k \quad (7) \quad \mu = F_H / F_k^+ \quad (8)$$

4. 解析結果

解析に使用した各種パラメータ値と解析結果を表1に示す。表中の捩りに関する各種パラメータは文献¹⁾を参考に評価した。静摩擦係数を求めた結果、WS-90で約0.23、WS-65で約0.18となった。

5. おわりに

天井の地震時水平力を周辺の間仕切壁に負担させる工法を想定し、間仕切壁の水平加力実験を実施したところスタッドの頂部で捩りが生じその増大に伴いランナー内部で壁の面内方向に滑った。そこでこの現象を評価すべく定式化し、静摩擦係数を求めた結果、約 0.2 となった。この値を参考にしてスタッドの捩り耐力の評価に繋げたい。



写真 1 スタッド上部の捩り変形

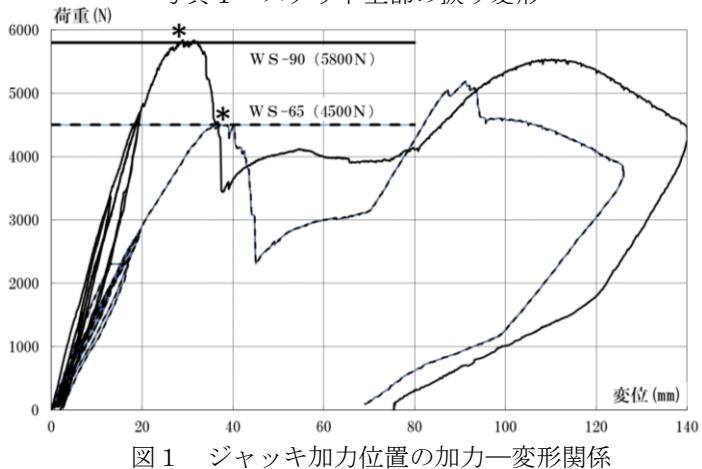
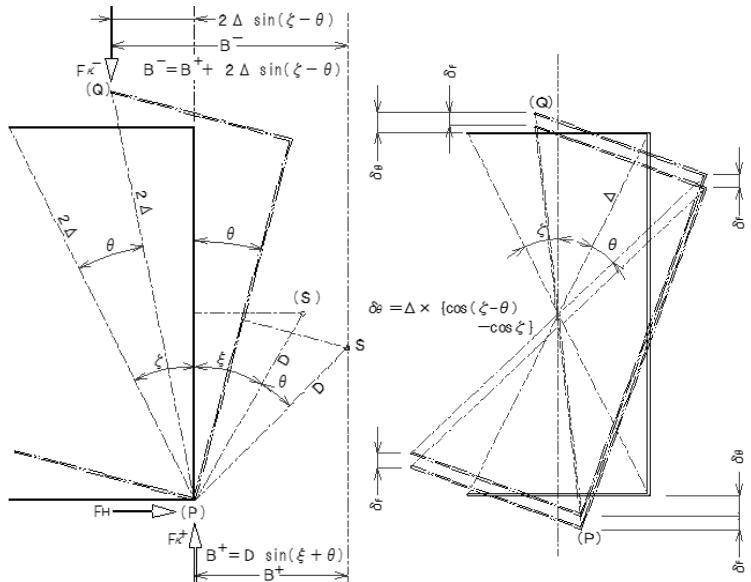


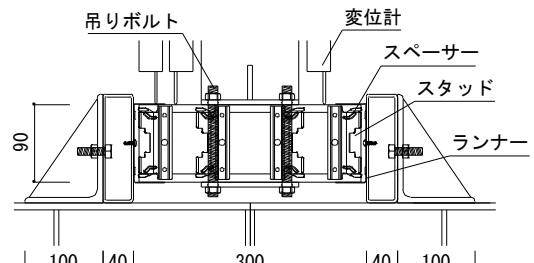
図 1 ジャッキ加力位置の加力一変形関係



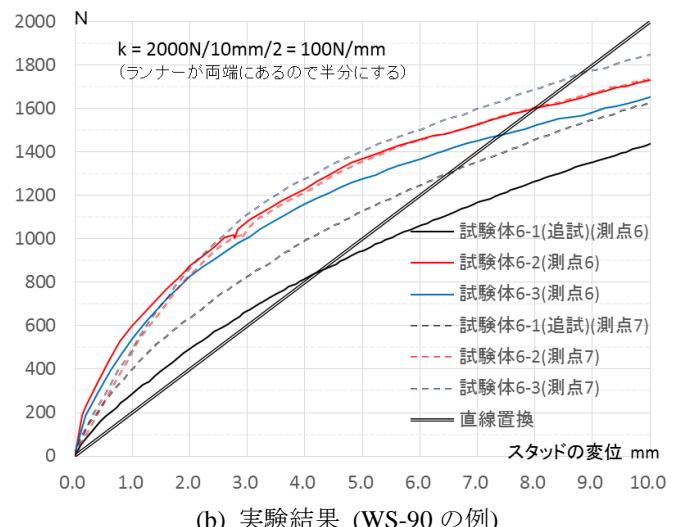
(a) 回転成分

(b) 並進成分

図 2 スタッド頂部の変形 (表記の定義)



(a) 試験体概要



(b) 実験結果 (WS-90 の例)

図 3 ランナー開きばね評価実験

表 1 解析用入力データと解析結果

項目(値はN, mm, radian系)	WS-90	WS-65
ヤング率	$E = 2.0500E+05$	$2.0500E+05$
断面二次モーメント	$I_y = 53386.0979$	47512.3656
部材長	$l = 1300.0000$	1300.0000
ウエップから捩り中心距離	$e = 23.6280$	25.3721
角から捩り中心距離	$D = 50.8260$	41.2310
角から捩り中心見込み角	$\xi = 0.4835$	0.6628
せん断弾性係数	$G = 7.9000E+04$	$7.9000E+04$
反り捩り定数	$C_w = 1.0241E+08$	$5.7045E+07$
サンブナン捩り定数	$J_T = 36.0107$	31.7440
捩り剛性	$K_\theta = 31290.8489$	18279.3374
対角線半長	$\Delta = 50.3115$	41.2310
対角線見込み角	$\zeta = 0.4636$	0.6055
耐力時ジャッキ加力	$P_0 = 5800.0000$	4500.0000
頂部反力1本分	$f = 489.3750$	379.6875
ランナー開きばね定数	$k = 100.0000$	80.0000
ジャッキ反力による変形	$\delta_f = 2.4469$	2.3730
摩擦反力	$F_H = 144.8190$	103.1357
加力反対側ランナー反力	$F_{k+} = 640.7645$	575.9766
静摩擦係数	$\mu = F_H/F_{k+} = 0.2260$	0.1791
耐力時捩り角	$\theta_0 = 0.2314$	0.2702
加力側ランナー反力	$F_{k-} = 151.3895$	196.2891
捩りによる膨れだし変形	$\delta_\theta = 3.9608$	4.8267
ジャッキ反力による変形	$\delta_f = 2.4469$	2.3730
F_{k+} によるランナーの変形	$\delta_\theta + \delta_f = 6.4076$	7.1997
F_{k-} によるランナーの変形	$\delta_\theta - \delta_f = 1.5139$	2.4536
ランナーからの反力に起因	$M_1 = 21972.1982$	17516.9436
摩擦力に起因	$M_2 = 5558.3927$	2531.8022
捩り剛性による復元力	$M_3 = 7240.7785$	4939.1428
開き抵抗力に起因	$M_4 = 9173.0269$	10045.9986
チェック	$M_2 + M_3 + M_4 - M_1 = -8.4977E-05$	$-3.676E-05$

参考文献 1) 「建築の力学 - 弾性論とその応用 - 」、

桑村仁、技報堂出版、2013年11月5日1版4刷