

壁支持システム天井の耐震性に関する研究

その2 構成部材が非対称配置型の力学特性

キーワード：ラインシステム 水平加力

天井ユニット 水平変位

正会員 ○中田紗綾*¹同 下氏亮介*¹同 濱崎源記*¹正会員 小林俊夫*²同 荒井智一*³同 相原正史*¹

1. はじめに

廊下や階段室など避難上重要となる部分は天井裏の設備配管等が多く敷設されているため、ブレースによる天井の耐震補強工事が難しい部分であるが、前報にて天井仕上面と設備配管等との隙間を用いた壁支持による天井の耐震化工法を新たに提案し、チャンネル3本対称配置とした基礎的な仕様の試験体にて耐震性能を確認した結果を報告した。

本稿では廊下の壁際に照明設備等が配置されることを想定し、チャンネル2本を支持スパンの中心に対して非対称配置とした場合の力学的特性を確認した試験の結果とその解析結果について報告する。

2. 試験体概要

標準仕様書に沿った軽量間仕切壁を内法間隔 2400 mm で2枚立て、壁支持のラインシステム天井を作成した。

使用部材、試験体平面図および計測位置を図1に示す。チャンネルはそれぞれ壁から 300 mm と 600 mm の位置に配置した。

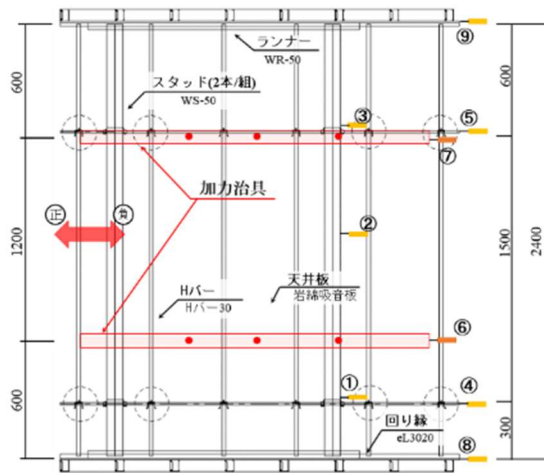


図1 試験体平面図、計測位置

3. 実験概要

加力治具の位置を支持スパン中央からそれぞれ 600 mm の位置とし、試験体中央の岩綿吸音板3枚に固定した。本試験では、チャンネルを非対称配置としたことで、岩綿吸音板の回転が生じ天井面変位に左右差が生じることが想定されたため、加力治具はそれぞれ独立させ、ジャッキ2本によって加力を行った。(図1、写真1)

荷重計を加力治具に取付け、変位計①～③でスタッド、④⑤でチャンネル、⑥⑦で加力治具、⑧⑨で壁面の水平変位を計測した。

2本の加力治具に均等に加力し、試験体重量≒400Nの1倍、2倍、3倍、4倍、5倍の荷重をそれぞれ3サイクル加力した時の各点の変位を測定した。

4. 実験結果

図2に変位計①～⑦(②を除く)の荷重-変形曲線を示す。サイクル加力では安定した挙動を示しており、全ての構成部材の変位に左右差が生じていることが分かる。目視において特筆すべき損傷が確認出来なかったため、サイクル加力終了後、破壊が生じるまで加力した。Hバーとチャンネル接合部の変形が進み、明らかに塑性化した変形性状を示したため終局とした。(写真2)

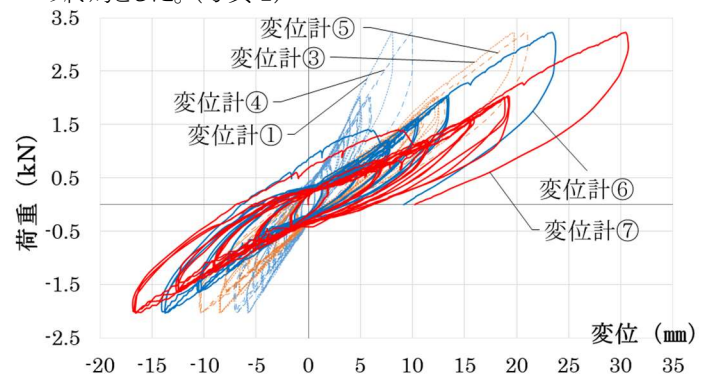


図2 ユニット試験 P-δ 曲線

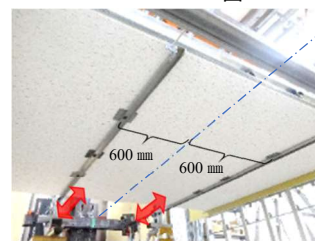


写真1 加力治具



写真2 終局状況

5. 解析

天井板に作用した荷重は、Hバー、チャンネルを通りスタッドに伝わり、スタッドの曲げ剛性によって抵抗している。スタッドと各接合部の柔性を求め、測定荷重 P を乗ずることによって各部の変位量を計算によりを導出し、その結果を試験での測定した変位と比較する。

①スタッドの柔性

終局時のスタッド端部の様子(写真3)からランナーへのビス固定を行っていないスタッド端部には反力を期待できないことが推測されたため、図3に示すような単純梁を組み合わせたものを解析モデルとした。

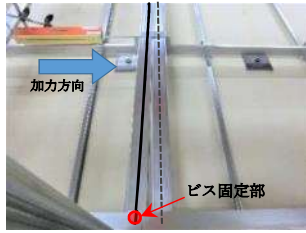


写真3 スタッド端部の様子

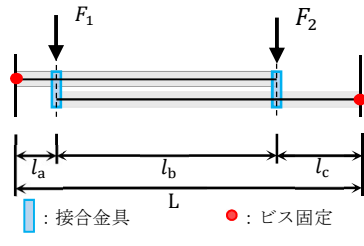


図3 解析モデル

試験で測定した天井面にかかる荷重の和を合力 F とすると、チャンネルからスタッドに伝達される荷重 F_1 と F_2 は、各点のモーメントのつり合い式から算出した荷重負担率 φ_1, φ_2 を用いて以下のように表す。

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{Bmatrix} F$$

$$\varphi_1 = \frac{l_a + l_b - l_c}{2l_b}, \quad \varphi_2 = \frac{-l_a + l_b + l_c}{2l_b}$$

A, B 点におけるスタッドの変位 X_{S1} と X_{S2} は荷重 F_1, F_2 がそれぞれスタッドに与える変位 d_{ij} の和であり、この時の各点の柔性を e_{ij} とする。

$$\begin{Bmatrix} X_{S1} \\ X_{S2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} d_{11} + d_{21} \\ d_{12} + d_{22} \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} X_{S1} \\ X_{S2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{21} \\ e_{12} & e_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

各点の柔性 e_{ij} は荷重 F_1, F_2 によって、スタッドの各点に生じる反力の分布係数 g_{ij} と、単純梁のたわみの公式を用いて算出した変位影響係数 $D(p, q)$ を用いて、Castiglino の定理に基づき以下のように求まる。

$$\begin{cases} e_{11} = g_{11}^2 \times D(l_a, l_b) + g_{12}^2 \times D(l_b, l_c) \\ e_{12} = e_{21} = g_{11} g_{12} \times D(l_b, l_c) + g_{22} g_{21} \times D(l_a, l_b) \\ e_{22} = g_{22}^2 \times D(l_b, l_c) + g_{21}^2 \times D(l_a, l_b) \end{cases}$$

$$g_{11} = g_{22} = \frac{(l_a + l_b)(l_b + l_c)}{l_b(l_a + l_b + l_c)}$$

$$g_{12} = \frac{l_a(l_b + l_c)}{l_b(l_a + l_b + l_c)} \quad g_{21} = \frac{l_c(l_a + l_b)}{l_b(l_a + l_b + l_c)}$$

$$d = P_0 \times \frac{p^2 \times q^2}{3EI(p+q)} = P_0 \times D(p, q)$$

$$D(p, q) = \frac{p^2 \times q^2}{3EI(p+q)}$$

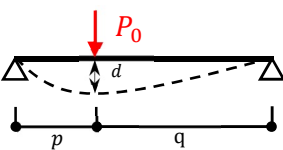


図4 たわみの公式

各係数を以下式のように整理し、この時の柔性 e_{S1}, e_{S2} がA, B 点でのスタッドの柔性である。

$$\begin{Bmatrix} X_{S1} \\ X_{S2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} e_{11} \times \varphi_1 + e_{21} \times \varphi_2 \\ e_{12} \times \varphi_1 + e_{22} \times \varphi_2 \end{Bmatrix} F = \begin{Bmatrix} e_{S1} \\ e_{S2} \end{Bmatrix} F$$

②接合部の柔性

ユニット試験で計測した各変位から各部の相対変位を算出した結果を図5, 6に示す。

計測結果と接合金具の使用個数から、スタッド-チャンネル間の接合金具の剛性を200N/mm・個、チャンネル-Hバー間の接合金具の剛性を78.75N/mm・個とした。柔性はそれぞ

れの剛性の逆数をとる。なお、スタッド-チャンネル間の接合金具は計測した中で最も低い剛性を示した領域で評価した。

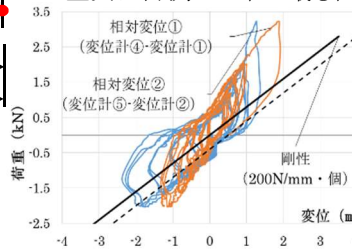


図5 スタッド-チャンネル 相対変位

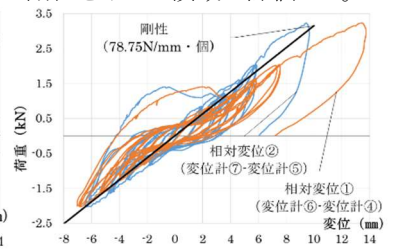


図6 チャンネル-天井面 相対変位

③試験結果との比較

①, ②で得た各部の柔性に試験での測定荷重 P を乗じた値を理論値とし、各部材ごとに測定結果(図2)と比較した結果を図7~9に示す。

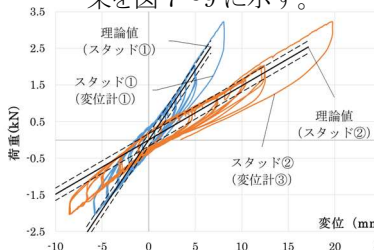


図7 スタッド 計算値との比較

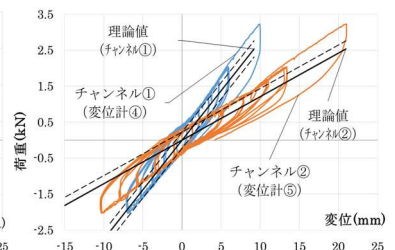


図8 チャンネル 計算値との比較

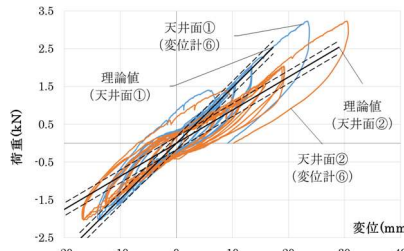


図9 天井面 計算値との比較



写真4 岩綿と見切り材の接触

6. 考察

解析結果と試験の計測値では初期剛性と切片の位置に差異が生じている。加力中の試験体端部の岩綿吸音板に、見切り材との接触の跡や軽微な削れが確認できたため(写真4)、摩擦の影響によるものだと考えられる。摩擦係数を0.75程度と仮定し、解析結果に摩擦力を考慮した結果を図7~9に破線で示す。

7. まとめ

単純梁の組み合わせモデルより、チャンネル2本非対称配置型でのスタッドの柔性を算出可能であり、これに各接合金具の柔性を考慮することで天井面にかかる荷重とその変位について精度良く算出できる。

また実験では自重1Gが作用し摩擦力が発生していたが、地震時には上下動の影響によって摩擦力が減少することも考えられる。そのため摩擦力を無視し、本解析によって算出した理論値のみで天井面変位を評価することで、安全側を考慮した天井の耐震設計が可能である。

*1 桐井製作所

*2 桐井製作所 工学博士

*3 桐井製作所 修士(工学)

Kirii Construction Materials Co., Ltd, M Eng.

Kirii Construction Materials Co., Ltd, Dr.Eng.

Kirii Construction Materials Co., Ltd.