

Thermomass®非组合受力夹心墙板 CC 和 MC/MS 连接器混搭使用指南（中文）

作者：Kim Seeber, PE, F.PCI Structural Engineer

kseeber61@yahoo.com

翻译：陈振基博士、查晓雄教授

校对：谷明旺

发布：深圳市现代营造科技有限公司

2018 年 4 月 21 日

警告：本指南不是技术标准，文件是基于美国 CTC 公司 Thermomass®的 CC 和 MC/MS 产品所进行的多年试验研究和应用经验所得，其中的几何属性、力学参数、计算公式、使用方法仅适用于美国 CTC 公司的 Thermomass®产品，若其它公司的产品擅自使用本指南，由于产品性能、质量和技术参数不同所产生的不良后果，CTC 公司及其中国代理商深圳市现代营造科技有限公司不承担任何经济 and 法律责任。

咨询电话：0755-83558535, szxdyz@163.com, 深圳福田区中银大厦 B 座 12D

Contents 内容目录

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Overview 概述..... | 3 |
| 2 | Geometry 几何属性..... | 4 |
| 3 | Connector Behavior and Considerations 连接器力学行为和注意事项..... | 5 |
| 4 | Connector design 连接器的设计..... | 7 |
| 5 | Connector spacing 连接器布置间距..... | 11 |
| 6 | References 参考文献..... | 16 |
| 7 | Examples 例子..... | 17 |

1 Overview 概述

注意：本说明文件内容基于源文件(Seshappa, V.; Seeber, K. Technical Data CC-Connectors, THERMOMASS, Thermomass, March, 2014^[5])做出了修改。

美国 CTC 公司的 THERMOMASS 夹心保温连接器，是用于超低能耗房屋建设的世界领袖品牌，随着中国零能耗房屋的兴起，为了提高 100mm 厚度以上的夹心保温墙板的经济性，受 CTC 公司的委托，由中国代理商深圳市现代营造科技有限公司公开 Thermomass 产品的 CC+MS/MC 组合方案，并接受中国客户的咨询和销售业务。

如图 1 所示 CC 连接器比传统的 MC/MS 连接器有更大的尺寸和强度。因为它具有更大的横截面积，CC 连接器可以和 MC/MS 连接器一同工作，使得非组合夹心墙板在满足所需工作要求状态下所使用的连接件总数减少。这对整体制作和材料使用起到了很大的节省成本的作用，尤其是对需要设置较厚绝缘层（保温层）的板。（保温层厚度大于等于 100mm）

这份指南旨在帮助相关结构技术人员在设计板材时选择最优的连接器布置方案，同时也包含了设计人员在选择连接件时所需确定的荷载、变形和外叶墙的挠度等信息。

关于判定 CC 连接器和 MC/MS 连接器的组合是否最有性价比有一个总的原则：如果说绝缘层和外叶墙的总厚度大于等于 150mm 的话，那么使用 CC 连接器和 MC/MS 连接器组合则最为可能达到优质性价比。当然除了板上开洞较大的情况，这时使用 MC/MS 连接器为最佳（谷注：如果板上开洞较大已经影响到外叶墙的平面内刚度，可以详询我司工程师）。

注意：本指南不适用于每层厚度小于 50mm 的板，当绝缘层大于 150mm 时，请与我司工程师联系。

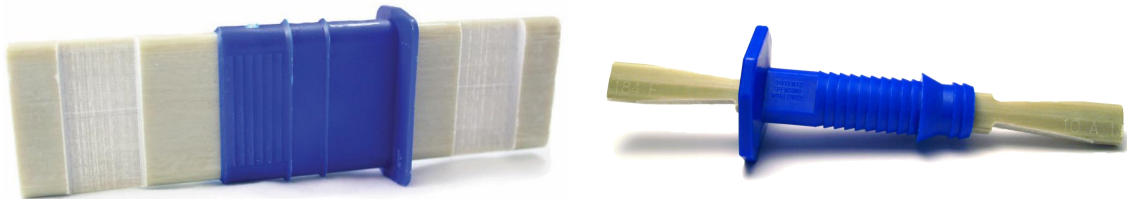


图 1: CC 及 MC/MS 连接器外观照片图

2 Geometry 几何属性

本指南中介绍的 CC 连接器的几何属性信息如表 1 所示。连接器的总长度由夹芯板的厚度和绝缘层的厚度决定。共有两种锚固尺寸可以选择：一种在混凝土内锚固埋深 50mm，用于厚度超过 55mm 的外叶墙；另一种在混凝土内锚固埋深 40mm，用于厚度为 50-55mm 的外叶墙。

CC 连接器的几何特性 表 1

| 属性 | 公制单位 | 英制单位 |
|---|-----------------------|----------------------|
| Area (A) 面积 | 306.3 mm ² | 0.47 in ² |
| Moment of Inertia Strong Axis (Ix) 强轴惯性矩 | 37645 mm ⁴ | 0.09 in ⁴ |
| Moment of Inertia Weak Axis (Iy) 弱轴惯性矩 | 1566 mm ⁴ | .004 in ⁴ |
| Height (a) 高度 | 40 mm | 1.6 in |
| Thickness (b) 厚度 | 8 mm | 0.30 in |

图 2: CC 连接器的及尺寸示意图.

3 Connector Behavior and Considerations 连接器力学行为和注意事项

CC 连接器在工作状态会受到一系列的外荷载作用，包括外叶墙的自重、风荷载、温度荷载、土压力和地震荷载。为保证正常工作，连接器本身在抗剪、抗拔方面具有一定的安全储备能力。其适用的允许值由试验和经验公式决定，根据绝缘层厚度的不同，具体的情况可以自行计算得出，公式位于表 2 下方。

表 2 则对几种典型不同厚度的绝缘层所取用的连接器抗力做了总结，对于表中没有包含的厚度，可由表 2 下方的公式计算得出。

CC 连接器的轴向抗力（锚固抗拔能力）和绝缘层的厚度无关，安全系数取 4 的允许轴向荷载为 3.34kN，适用于大多数工况。

表 2 中设计值的取用适用于以下情况：

- 混凝土养护 28 天强度，大于等于 30MPa
- 内叶墙混凝土层大于等于 50mm
- 连接器安装时平行于外层平面内纵轴（强轴竖向安装）
- 连接器只能用在绝缘层厚度小于等于 150mm 的板的情况下（大于 150mm 请咨询我司工程师）
- 连接器只能用在外侧叶墙厚度大于等于 50mm 的情况下
- 不考虑绝缘层和混凝土之间因粘结产生的抗剪力（短期存在，长期可忽略）
- **CC 连接器数量是由假设外叶墙自重全部由 CC 连接器来承受的情况下**
- 后面将给出 CC 与 MC/MS 连接器的排版布置参考设计

表 2:允许的 CC 负载、挠度和产生的 MC/MS 负载

| CC 连接器的最大允许剪切负载 $V_{all,CC}$ 、最大允许剪切负载作用下的偏转位移值 δ 、偏转位移值 δ 时单根 MC/MS 连接器承担的剪切力计算表 | | | | |
|---|---------------------------------------|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 保温板厚度 t (单位 mm) | MC/MS 连接器有效弯曲计算长度近似值 d_A (单位 mm) | 公式(a) | 公式(b) | 公式(c) |
| | | CC 连接器强轴抗剪允许承载力 (安全系数 4) $V_{all,CC}$ (单位 kN) | 在垂直荷载 $V_{all,CC}$ 作用下, 外叶墙的垂直偏转位移 δ (单位 mm) | 在垂直偏转位移 δ 时, MS/MC 连接器所承受的剪切力 $V_{MS/MC}$ (单位 kN) |
| 50 | 67 | 3.25 | 0.71 | 0.21 |
| 55 | 71 | 3.25 | 0.84 | 0.21 |
| 60 | 75 | 3.24 | 0.96 | 0.20 |
| 65 | 79 | 3.22 | 1.08 | 0.19 |
| 70 | 84 | 3.19 | 1.19 | 0.18 |
| 75 | 88 | 3.16 | 1.30 | 0.17 |
| 80 | 93 | 3.11 | 1.41 | 0.15 |
| 85 | 97 | 3.06 | 1.50 | 0.14 |
| 90 | 102 | 2.99 | 1.59 | 0.13 |
| 95 | 106 | 2.92 | 1.66 | 0.12 |
| 100 | 111 | 2.84 | 1.73 | 0.11 |
| 105 | 116 | 2.75 | 1.78 | 0.10 |
| 110 | 120 | 2.65 | 1.82 | 0.09 |
| 115 | 125 | 2.54 | 1.85 | 0.08 |
| 120 | 130 | 2.43 | 1.86 | 0.07 |
| 125 | 135 | 2.30 | 1.86 | 0.07 |
| 130 | 139 | 2.17 | 1.83 | 0.06 |
| 135 | 144 | 2.02 | 1.79 | 0.05 |
| 140 | 149 | 1.87 | 1.73 | 0.05 |
| 145 | 154 | 1.71 | 1.65 | 0.04 |
| 150 | 158 | 1.54 | 1.54 | 0.03 |

| | | |
|--------|--|---------------------------|
| 公式(a): | $V_{all,CC} \text{ (kN)} = -0.00018t^2 + 0.0189t + 2.75$ | 注意:公式 (a) 已经包括了 4.0 的安全系数 |
| 公式(b): | $\delta \text{ (mm)} = (V_{all,CC})(0.000002t^2 + 0.0075t - 0.16)$ | |
| 公式(c): | $V_{MS/MC} \text{ (kN)} = (12 \cdot 30000 \cdot 243.5 \cdot \delta / 1000) / (d_A^3) = 12EI\delta / l^3$; δ 值取自公式(b) | |

*在安全系数 4.0 时, 单个 CC 的锚固抗拔允许承载力为 3.34KN (750 磅) (与保温厚度无关)

*CC 在弱轴方向的允许抗剪承载力可以按照强轴方向计算值的 2/3 取值。

4 Connector design 连接器的设计

连接器的设计应该综合考虑到每块板材从生产、运输、搭建直到工作状态期间所有可能受到的荷载。包括外层自重 g 、风压 w 、在外层上产生的温度差(ΔT)、以及混凝土层两侧的温度差($\theta_{ext} - \theta_{int}$)的作用，如下图 3 所示，在一些地区还要考虑地震荷载。关于荷载的确定和大小在其后的部分详述。

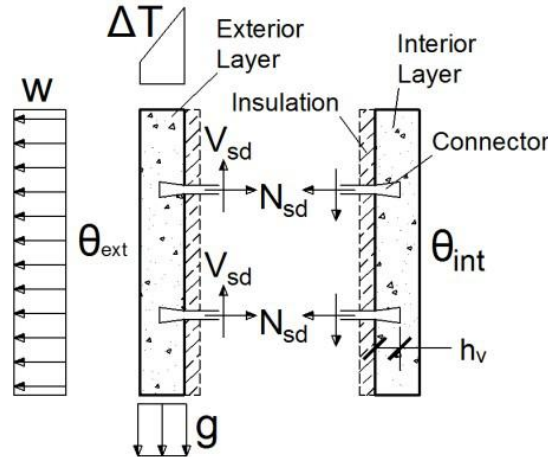


图 3: CC 及 MS/MC 连接器所承受的荷载和作用分析示意图

荷载的确定也应该根据相应的规范来实施，每个连接器相应的剪力设计值和轴向力设计值应进行一系列工况的组合且选择规范规定的安全系数。当乘以安全系数后的荷载是用来验证整个连接器系统的可靠性时，CC 和 MC/MS 连接器的容许荷载可以放大一倍。简化简化的计算模型是把连接器当成了一个两端固定在混凝土层中的单跨梁处理。

非组合夹心墙板的行为特征

本指南适用于在非组合夹心墙板中使用 CC 连接器和 MC/MS 连接器混搭使用的情况。非组合夹心墙板是指每个叶墙层都独立承受荷载。当与 MC/MS 连接器配合使用时，CC 连接器的设计应考虑承受整个外叶墙的全部自重。为了使温度影响产生的荷载效应最小，应尽量把 CC 连接器布置在板的水平重心附近。把 MC/MS 连接器布置在板的剩余位置来传递垂直于板面（例如：风）的荷载。

因为外叶墙的自重在此工况下全部由 CC 连接器支撑，且 CC 连接器不是无限刚性的，所以相对于内叶墙，外叶墙有一个非常小的向下的挠曲，使 CC 连接器受到弯曲和剪力作用。因此在确定荷载-挠曲行为影响时，就必须考虑 CC 连接器的剪切和弯曲刚度。除此之外，CC 连接器在锚固时候产生的微小旋转也会影响到挠曲（谷注：两端完全固定并产生反弯点）。正是因为这些复杂因素的组合，确定非组合夹心墙板挠曲最为靠谱可靠的方法就是通过基于试验结果的经验公式进行计算，这些公式位于表 2 的下方。

除了计算竖向挠曲之外，还需确定允许的有限（最大）挠曲值。基于成功应用 MC/MS 连接器 30 年的工程经

验，我们发现这个有限挠曲值限定到 2.54mm (0.1 英寸) 能使整个板系统完美工作。因此本指南也将采用此有限挠曲值。

在制作表 2 时，我们发现确定 CC 连接器极限抗剪值的安全系数取 4 时，造成的有限挠曲值总是小于 2.54mm。因此在有足够数量的 CC 连接器来承担外叶墙的自重时，外叶墙的竖向挠曲值总小于 2.54mm。（谷注：在使用 CC 连接器满足了承载力要求以后，可以不再计算挠曲值，因为计算结果都是小于 2.54mm 的，这就简化了设计计算）

因为将外叶墙当成刚体处理的假设和协同性（谷注：假设外叶墙在平面内刚度无限大），MC/MS 连接器会由于外叶墙垂直挠曲产生少量的剪力荷载，外叶墙的垂直挠曲值可以由下式计算得到：

$$\delta, \text{ mm} = (V_{cc})(0.000002t^2 + 0.0075t - 0.16) \quad \text{公式 1}$$

其中: V_{cc} = 每个 CC 连接器受到的剪力, kN

t = 绝缘层的厚度, mm

可以通过公式 1 得到的挠曲值来计算每根 MC/MS 连接器受到的剪力：

$$V_{(MS/MC)}, \text{ kN} = [(12 \cdot 30000 \cdot 243.5 \cdot \delta) / (d_A^3)] / 1000 = 12EI\delta / l^3 \quad \text{公式 2}$$

其中: d_A (mm)，代表连接器的有效弯曲长度，可以参考表 2 取值

（如果是表 2 中没有列出来的绝缘层厚度， d_A 可以通过插值方法计算得到）

$$E = 30,000 \text{ MPa}, \quad I = I_{Ave} = 243.5 \text{ mm}^4$$

要注意：因为 CC 连接器是用来限制外叶墙挠曲变形的，MC/MS 连接器的容许剪力值和拉力值不随着绝缘层的厚度变化而变化，因此，使用表 2 中 ESR-1746 的值，选用所列值的最小值得到：

MC/MS 容许剪力设计值（安全系数取 4）= 0.50 kN (113 lbs.)

MC/MS 容许拉力设计值（安全系数取 4）= 2.57 kN (577 lbs.)

外叶墙自重的计算

由外叶墙板自重产生的剪力 V_g 是由外板面积(A)、厚度(d_v)和混凝土容重($\gamma_{conc} \approx 24 \text{ kN/m}^3$)三者相乘得到。计算每个 CC 连接器所受到的剪力需要用外板自重除以 CC 连接器的个数。因为 CC 连接器群的形心可能和外叶墙的重心不重合，其产生的扭矩可能会增加形心一侧的 CC 连接器受到的剪力增加，另一侧受到的剪力减少。在设计时，CC 连接器考虑成承担全部扭矩，MC/MS 连接器所受到的扭矩可以忽略。为了估计因为扭矩对 CC 连接器产生了额外的剪力，我们在初估 CC 连接器数目的时候，需要增加 10%-15%的外叶墙自重。

$$V_g = (1.10 \text{ to } 1.15) (\gamma_{conn} \frac{d_v \cdot A}{n_{CC}})$$

公式 3

而且，连接器必须承受在运输和搭建过程中外叶墙的自重荷载（轴向力和剪力）。

风荷载计算

$$N_w = pw \cdot \frac{A}{n_{MC}}$$

公式 4

风荷载会在连接器上产生轴向力，是压力还是拉力取决于风对板产生的是吸力还是压力。设计时应考虑会产生最不利荷载的风向。根据相应规范，轴向力由风压（pw）和板的受荷面积 A 相乘得到，除以连接器的个数 N（CC 和 MC/MS 连接器的总数量），即为每个连接器承受的风荷载。

地震作用计算

每个连接器所受到的地震产生的轴向荷载可以按照计算风荷载的方法来确定。

当地震作用使得外叶墙侧向发生相对位移，连接器上也就产生了剪力。因为 CC 连接器弱轴方向的刚度比 MC/MS 连接器要大的多，所以全部地震剪力都由 CC 连接器承担（谷注：如果不嫌麻烦，可以按照侧向刚度比来分配计算，完全由 CC 来承担的计算方法偏于保守）。由于地震引起的挠曲不是主要变形，只需要确定每个 CC 连接器的剪力即可：算出总的地震总剪力除以连接器的数目。见表 2 尾注，CC 连接器群弱轴方向的抗剪承载力是强轴方向的 2/3。

当地震水平作用垂直于面板时，将公式 4 中的单位风压替换为地震荷载 GW，每个连接器受到的地震荷载可参照风荷载的计算方法，在这种地震作用下，所有 CC 和 MS/MC 连接器受到的都是轴向拉力或是压力。

当考虑竖向地震作用时，CC 连接器设计成承担所有竖向地震荷载，和支撑外叶墙自重时采取同样的假设（谷注：不考虑 MC/MS 的作用，计算偏于保守）。

温度作用计算

温度作用有两种情况：第一种是外层沿厚度方向内外的温度差(ΔT)会产生一种类似于梁的弯曲变形（外叶墙的平面外翘曲），这种现象会让连接器产生小的拉力。对典型的板材来说，这种拉力比较小而且是暂时性的，因此可以忽略。

第二种是必须考虑的外叶墙和内叶墙之间的温度差(Δθ)，这个温度差和热弯曲有关，热弯曲主要出现在组合受力夹心墙板中。在非组合夹心墙板中，则是使得外叶墙的平面内变形和距刚度中心的距离成正比。对于底部没有支撑的板，板的重心和刚度中心重合。因此离刚度中心最远的连接器承受的变形最大（谷注：最远端的连接器

承受的水平推力也就越大)。

对于一个高度为 B 的外层板，底部没有支撑，离边缘距离为 X_H 的连接器的最大变形 $\delta_{\Delta\theta}$ 可由公式 5 计算，下式假设外叶墙的膨胀和收缩不受连接器的影响（谷注：假设外叶墙在产生温度胀缩时，连接器处于弹性工作状态）。

$$\delta_{\Delta\theta, \text{mm}} = \alpha_T \cdot \Delta\theta \cdot \left(\frac{B}{2} - X_H \right) \cdot 1000 \left(\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right) \quad \text{Eq. 5}$$

其中;

$\alpha_T = 1 \times 10^{-5} / \text{K}$; $\Delta\theta$ = 外叶墙和内叶墙的温度差, 单位 °K

B = 墙板高度, 单位 m X_H = 连接器距墙板中心的距离, m

最远端的 MC/MS 连接器产生的剪力可以用公式 6 计算

$$V(\delta_{\Delta\theta}), \text{kN} = \delta_{\Delta\theta} / (d_A^3) / 1000 \text{ (N/kN)} \quad \text{Eq. 6}$$

其中: d_A , mm (连接器的有效弯曲计算长度) 能够从表 2 第 2 列查到

ΔT 和 $\Delta\theta$ 的取用在各国之间可能存在差异（谷注：根据项目所处地域不同，也会有差异），应根据相应具体的规范采用。作为参考，外叶墙板厚度方向的温度差 ΔT 可以取 5K，内外层板之间的温度差 $\Delta\theta$ 可以取 40K。

荷载的相互作用和组合效应

The safety verification of each connector consists of the analysis of the ultimate limit cases for different relevant load combinations, as well as deformation limit cases. Each ultimate load case is verified if the following interaction Eq. 7 is true for the axial and shear forces. Where N_{Rd} and V_{Rd} are respectively the resisting axial and shear forces. As previously stated, **when factored loads are used to check the adequacy of the connector system, the allowable connector loads (N_{Rd} and V_{Rd}) for the CC and MC/MS connectors may be doubled.** The acting design loads N_{sd} and V_{sd} are determined by using appropriate load combinations and the associated code load factors.

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} + \frac{V_{sd}}{V_{Rd}} \leq 1.0 \quad \text{公式 7}$$

During the safety verification, it is essential to compare the load design value to the design resistance of each connector type separately, when using the non-composite system that uses both MC and CC connectors.

每个连接器都需要对各种情况下的荷载进行组合分析，还有极限变形分析，来完成安全校核。如果连接器受到轴向力和剪力作用，就代入公式 7 进行极限状态复核。 N_{Rd} 和 V_{Rd} 分别代表轴向和剪力抗力。如前面所述，当乘以安全系数后的荷载是用来验证整个连接器系统的可靠性时，CC 和 MC/MS 连接器的容许荷载 (N_{Rd} and V_{Rd}) 可以

放大一倍。施加的荷载 N_{sd} 和 V_{sd} 由相应的荷载组合和系数决定。

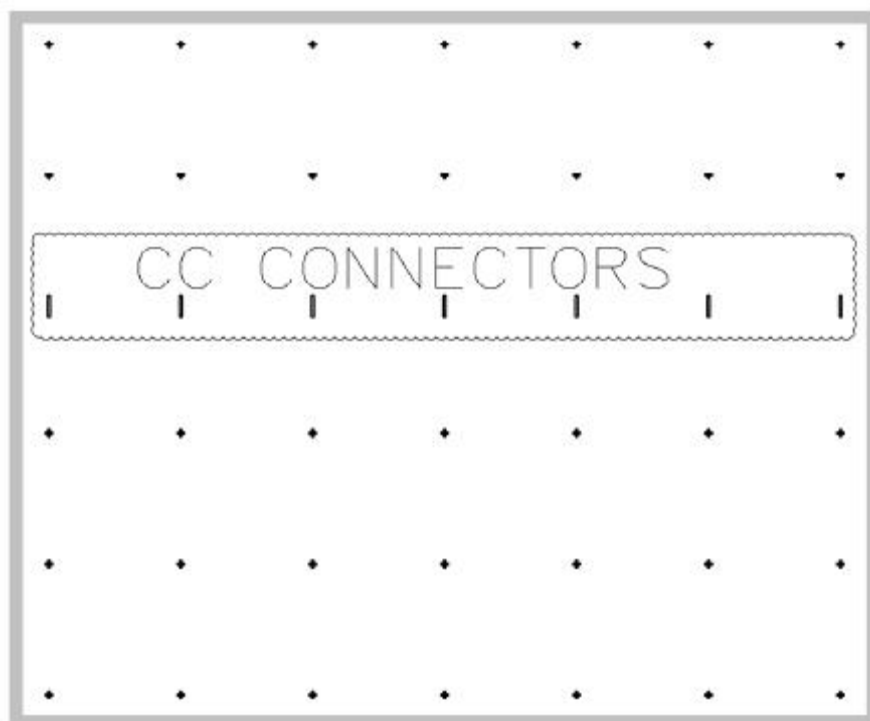
在使用非组合夹心墙板时，MC/MS 和 CC 连接器都使用的情况下，要把设计荷载和每个连接器的抗力按照连接器类型分开校核。

5 Connector spacing 连接器的布置间距

CC 连接器和附加的 MC/MS 连接器应该参照下面非组合夹心墙板设计指南进行布置：

System Non-Composite (NC)非组合受力夹心墙板系统连接器布置原则

- ① CC 连接器应布置在板的重心附近，且应垂直朝向面积较大的区域，如图 4 所示，图 4 中显示了设置了一排和两排 CC 连接器的情况，但通常只需要一排来承担外叶墙的自重。
- ② MC/MS 连接器应在剩余的部位平均布置，最大网格间距不超过 625mm（25 英寸）。
- ③ 每块板连接器的数目取决于绝缘层和外层板的厚度，详情参照本指南。
- ④ 连接器的最小间距是 150mm。
- ⑤ 离边缘的最小距离是 100mm。
- ⑥ 离边缘的最大距离是 300mm。
- ⑦ 若绝缘层层数超过一层，板应具体情况具体分析（谷注：如果保温由多层组成，且每层的面积不同时，连接器的长度就出现多种规格，此时计算较为复杂，请详询我司工程师）。
- ⑧ 在外叶墙较窄的区域，例如窗楣、门边柱，连接器应至少交错布置两列



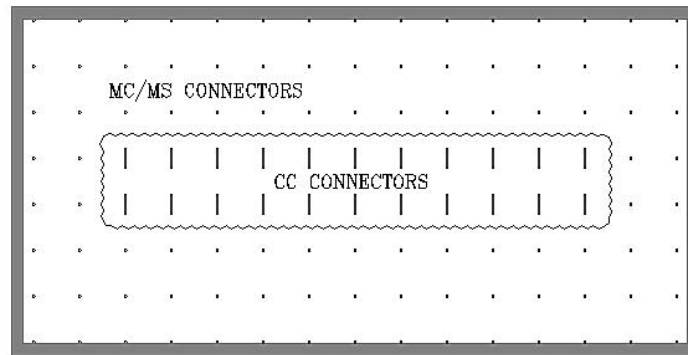
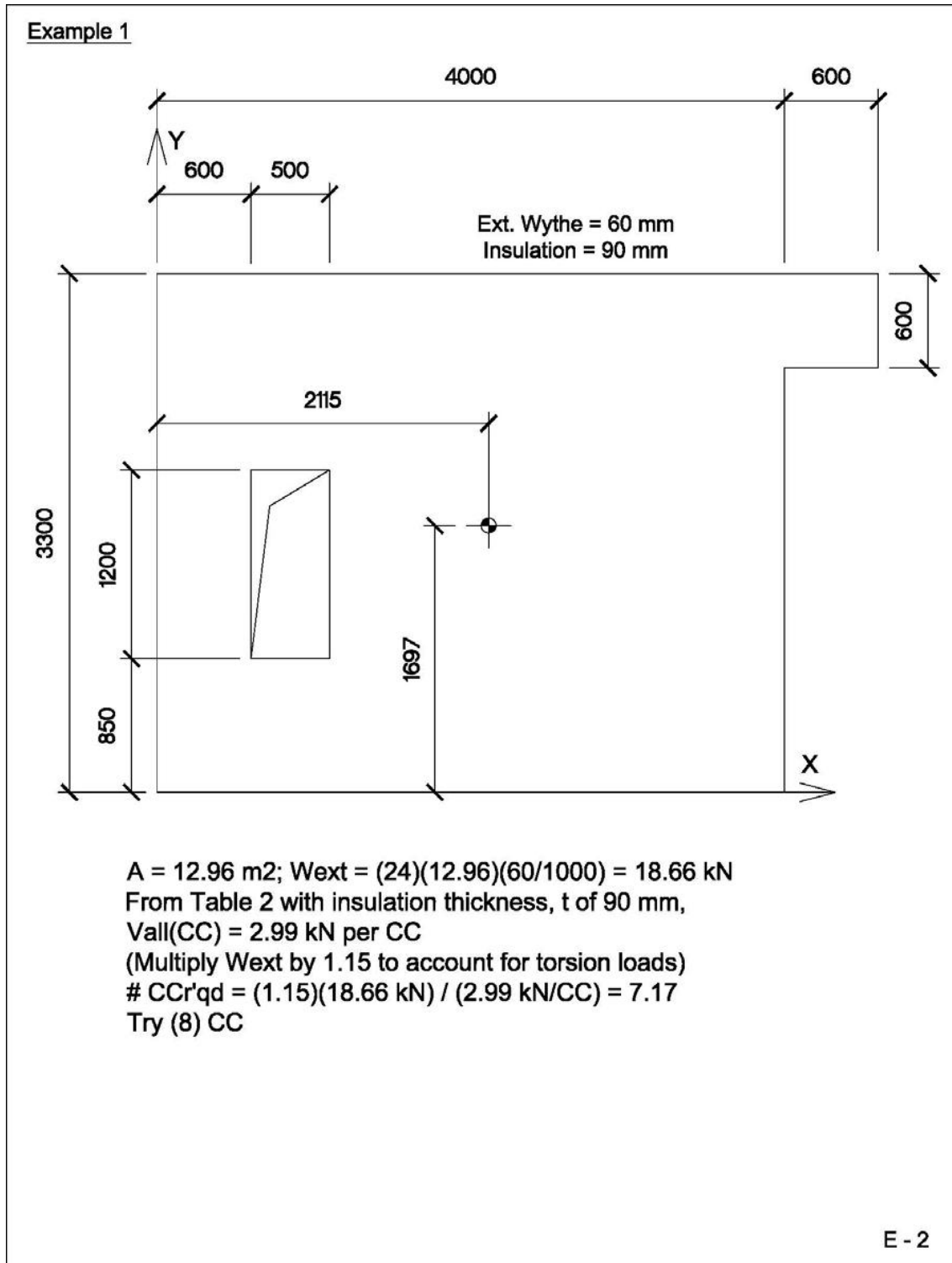


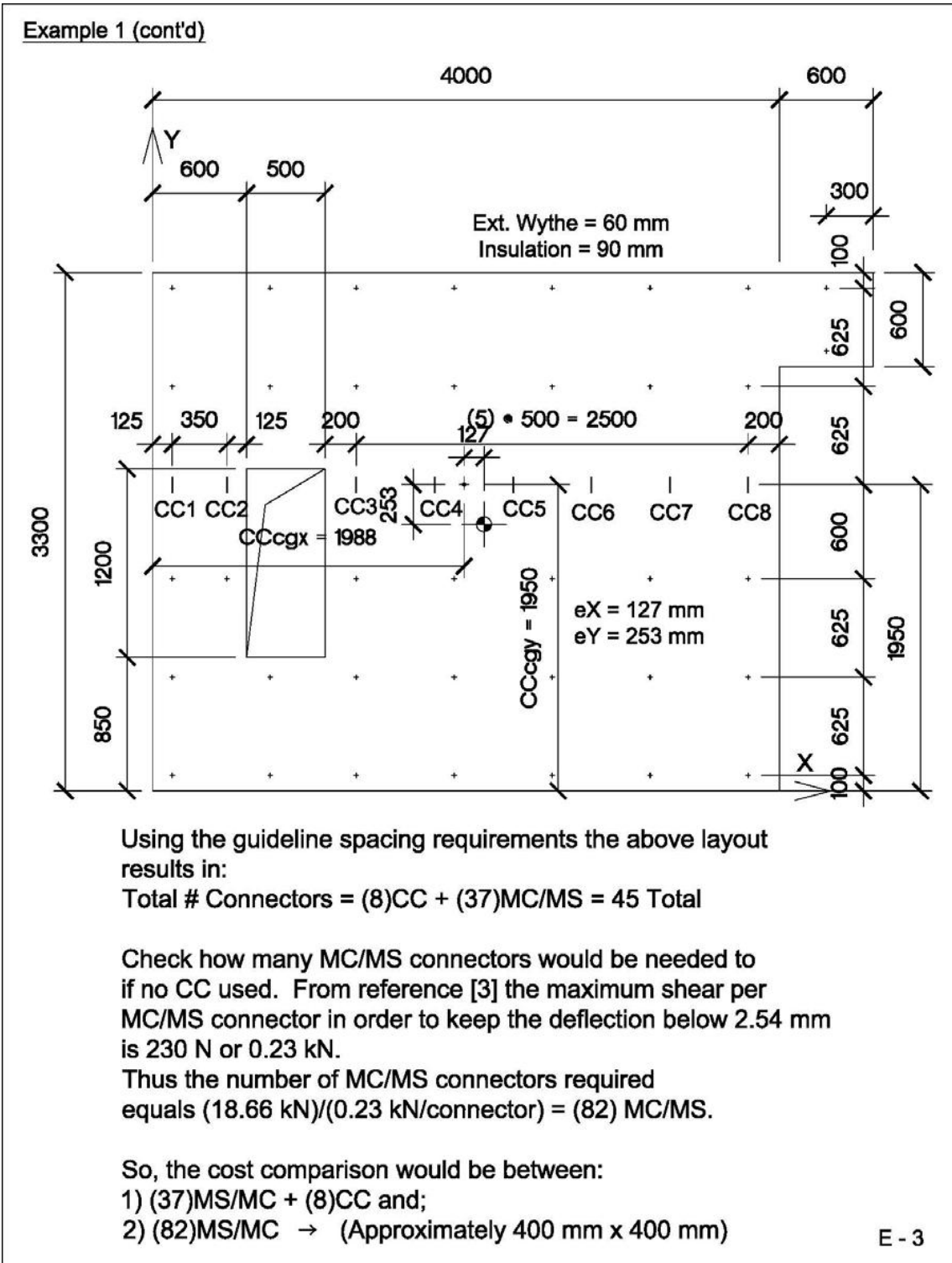
图 4: CC 连接器和 MC/MS 连接器在非组合夹心墙板上的典型布置示意图, 禁止在灰色区域布置连接器 (大约距边缘有 100mm 之内)
注意: 大多数板只需要一排 CC 连接器, 不需要两排。

6 References 参考文献

- [1] Seshappa, V.; Seeber, K. Design of energy efficient partially-composite sandwich wall panels using fiber composite polymer (FRP) wythe connectors. 3rd fib International Congress 2010.
- [2] Technical Design Guide for the THERMOMASS® C-Wall Sandwich Panel System. Thermomass, October 2006.
- [3] ESR-1746, THERMOMASS® MC and MS Fiber Reinforced Composite Wythe Connectors Integrally Insulated Wall Panels, ICC Evaluation Services, Inc., August 1 2007.
- [4] Metric Guide for MC and MS Connectors, THERMOMASS®, Thermomass, January, 2014.
- [5] Seshappa, V.; Seeber, K. Technical Data CC-Connectors, THERMOMASS, Thermomass, March, 2014.

7 Examples 例子



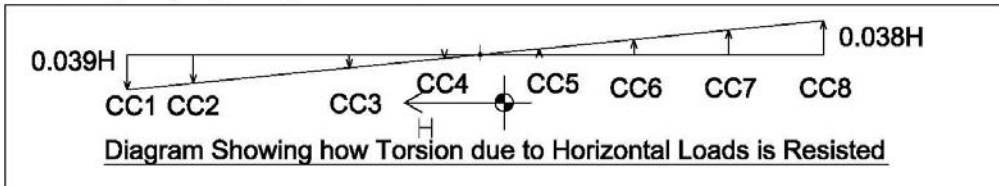


Example 1 (cont'd)

Determination of Shear Loads on CC Connectors

$$\begin{aligned}
 CC\ ex &= 2115 - 1988 = 127 \\
 CC\ ey &= 1697 - 1950 = -253 \\
 I_{cc} &= (1863)^2 + (1513)^2 + (688)^2 + (188)^2 \\
 &\quad + (312)^2 + (812)^2 + (1312)^2 + (1812)^2 \\
 I_{cc} &= 12030002\ CC*mm^2 \\
 S_{cc1} &= 12030002 / 1863 = 6457\ CC-mm \\
 S_{cc8} &= 12030002 / 1812 = 6639\ CC-mm
 \end{aligned}$$

CC1 will resist the most shear due to vertical load and CC1, CC8 will resist the most horizontal load torsion. If V is the vertical force, then CC1 resists $V/7 + (127)V/(6457)$ or $V_{cc1} = V/8 + 0.020 = 0.145V$
 If H is the horizontal load (seismic) then, $H_{cc1,cc8} = H/8$ and $V_{cc1} = (253)H/(6457) = 0.039H$
 $V_{cc8} = (253)H/(6639) = 0.038H$



Calculation and Checking Service Shear Loads on CC Connectors

$$\begin{aligned}
 V &= W_{ext} = 18.66\ kN \\
 V_{cc1}(W) &= (0.145)(18.66) = 2.71\ kN < V_{all}(CC) = 2.99\ kN\ //OK
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{If } V(\text{seismic})_{\downarrow\uparrow} &= V(E) = (20\%)W_{ext}, \\
 \text{then } V(E) &= (0.2)(18.66) = 3.73\ kN \\
 V_{cc1}(E) &= (0.145)(3.73) = 0.54\ kN \\
 &\text{(This value will be used in the Ultimate Load Combinations)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{If } H(\text{seismic}) &= (40\%)W_{ext} \text{ then } H = (0.4)(18.66) = 7.46\ kN \\
 H \text{ per CC} &= 7.46/8 = 0.93\ kN/CC \\
 \text{From Table 2 for CC weak axis, Use } H_{all}(CC) &= (\frac{2}{3})(V_{all}(CC)) \\
 H_{all}(CC) &= (\frac{2}{3})(2.99) = 1.99\ kN > 0.93\ kN\ //OK
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Additional } V \text{ on CC1 due to } H(ey) &= (+/-)(0.039)(7.46) \\
 V_{cc1}(H) &= (+/-)0.29\ kN \\
 &\text{(This value will be used in the Ultimate Load Combinations)}
 \end{aligned}$$

Example 1 (cont'd)Temperature Shear Loads on CC Connectors

(Since the CC row is not at the mid-height of the panel, there will be some shear in the CC connectors due to temperature.

Use $\theta = 40$ K; $L/2 - XH = 0.300$ m

$$\delta = (1 \times 10^{-5})(40)(0.300)(1000) = 0.12 \text{ mm}$$

From Table 2 with insulation thickness of 90 mm, the shear due to a 1.59 deflection is 2.99 kN.

The shear due to a 0.12 mm deflection can be calculated by, $V(\text{CC}) = (0.12/1.59)(2.99 \text{ kN}) = 0.23 \text{ kN}$

Temperature Shear Loads on MS/MC Connectors

Use $\theta = 40$ K; $L/2 - XH = 1.550$ m

$$\delta = (1 \times 10^{-5})(40)(1.550)(1000) = 0.62 \text{ mm}$$

$$V(\text{MS/MC}), \text{ kN} = [(12 \times 30000 \times 243.5 \times \delta) / (dA^3)] / 1000$$

From Table 2, $dA = 102$ mm

$$V(\text{MS/MC}), \text{ kN} = 0.05 \text{ kN} < V_{\text{all}}(\text{MS/MC}) = 0.50 \text{ kN} // \text{OK}$$

Tensile Loads on All ConnectorsTensile Loads due to Wind

Use Wind Suction = 3.00 kN/m²

$$\text{Total Panel Area} = (3.3)(4.0) + (0.6)(0.6) = 13.56 \text{ m}^2$$

$$\text{Total Wind Force} = (3.00)(13.56) = 40.7 \text{ kN}$$

$$\text{Total \# Connectors} = (8)\text{CC} + (37)\text{MS} = 45$$

Wind Tension per MS and CC connector

$$= 40.7/45 = 0.90 \text{ kN}$$

$$< N_{\text{all}}(\text{CC}) = 3.34 \text{ kN} \text{ and } < N_{\text{all}}(\text{MC/MS}) = 2.57 \text{ kN} // \text{OK}$$

Tensile Loads due to Seismic perpendicular to Panel Face

(from previous calculations)

$H = 7.46$ kN, then Tension Load per MS and CC Connector

$$= 7.46/45 = 0.17 \text{ kN} \text{ (less than allowables //OK)}$$

Example 1 (cont'd)Now Check Ultimate Level Load Interactions

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) \leq 1$$

Note: Remember N_{rd} and V_{rd} are equal to twice the allowable values, $N_{rd} = (2)N_{allowable}$ and $V_{rd} = (2)V_{allowable}$

CC Connector Interactions

$$U = (1.4)Weight + (1.0)Seismic + 0.5(Wind + Temperature)$$

(Vertical Seismic)

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.0)(0.17) + 0.5(0.90 + 0) = 0.62 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.71) + (1.0)(0.54) + 0.5(0 + 0.23) = 4.45 \text{ kN}$$

Interaction

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((0.62)/(2)(3.34)) + ((4.45)/(2)(2.99))$$

$$= 0.09 + 0.74 = 0.83 < 1.0 \text{ OK//}$$

$$U = (1.4)Weight + (1.0)Seismic + 0.5(Wind + Temperature)$$

(Horizontal Seismic ← →)

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.0)(0) + 0.5(0.90 + 0) = 0.45 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.71) + (1.0)(0.29) + 0.5(0 + 0.23) = 4.20 \text{ kN}$$

Interaction

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((0.45)/(2)(3.34)) + ((4.20)/(2)(2.99))$$

$$= 0.07 + 0.70 = 0.77 < 1.0 \text{ OK//}$$

$$U = (1.4)Weight + (1.6)Wind + (0.5)Temperature$$

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.6)(0.90) + 0.5(0) = 1.44 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.71) + (1.6)(0) + 0.5(0.23) = 3.91 \text{ kN}$$

Interaction

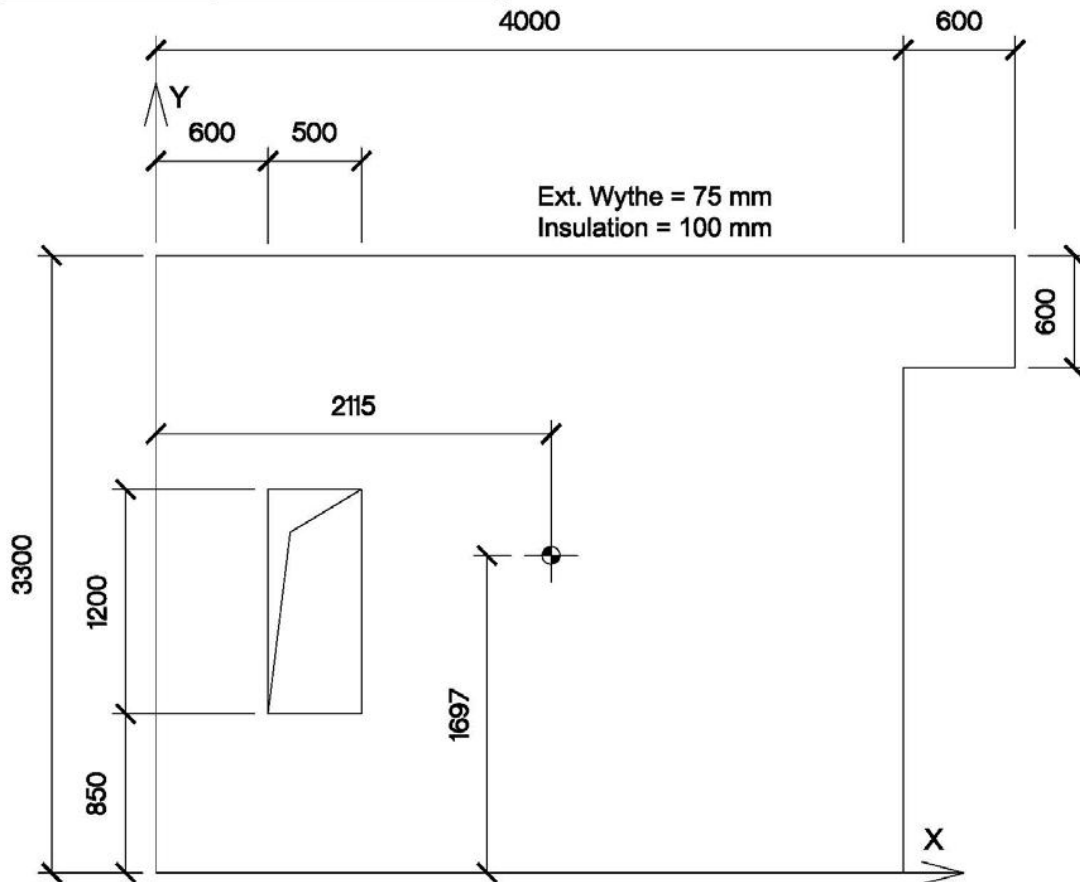
$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((1.44)/(2)(3.34)) + ((3.91)/(2)(2.99))$$

$$= 0.22 + 0.65 = 0.85 < 1.0 \text{ OK//}$$

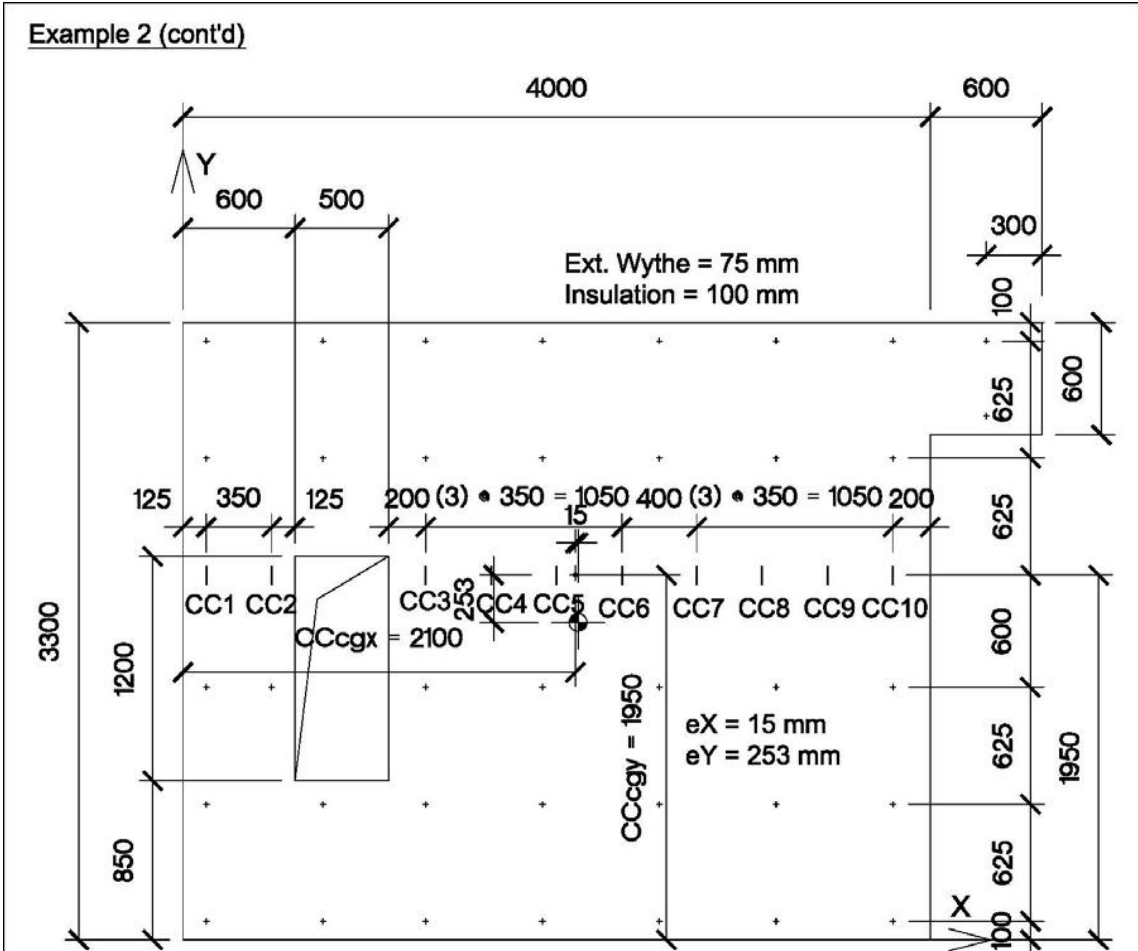
MC/MS Connector Interactions

Note: Similar calculations as done for the CC connectors above could be done for the MC/MS connectors, but by comparing the loads against the capacities reveals that these calculations will not be needed.

Example 2 (Same geometry as example 1, but now the insulation thickness is 100 mm and the exterior wythe thickness is 75 mm.)



$A = 12.96 \text{ m}^2$; $W_{ext} = (24)(12.96)(75/1000) = 23.33 \text{ kN}$
 From Table 2 with insulation thickness, t of 100 mm,
 $V_{all}(CC) = 2.84 \text{ kN per CC}$
 (Multiply W_{ext} by 1.15 to account for torsion loads)
 $\# \text{ CC}'_{qd} = (1.15)(23.33 \text{ kN}) / (2.84 \text{ kN/CC}) = 9.44$
 Try (10) CC



Using the guideline spacing requirements the above layout results in:

Total # Connectors = (10)CC + (37)MC/MS = 47 Total

Check how many MC/MS connectors would be needed to if no CC used. From reference [3] the maximum shear per MC/MS connector in order to keep the deflection below 2.54 mm is 160 N or 0.16 kN.

Thus the number of MC/MS connectors required equals $(23.33 \text{ kN}) / (0.16 \text{ kN/connector}) = (146) \text{ MC/MS}$.

So, the cost comparison would be between:

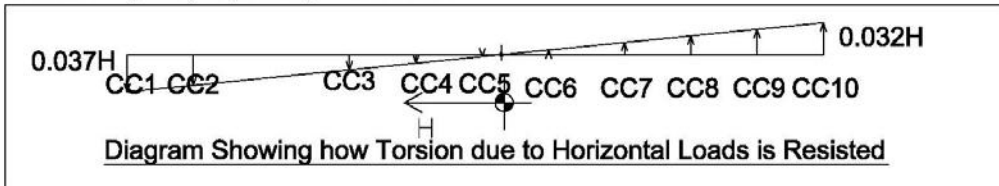
- 1) (37)MS/MC + (10)CC and;
- 2) (146)MS/MC → (Approximately 300 mm x 300 mm)

Example 2 (cont'd)

Determination of Shear Loads on CC Connectors

$$\begin{aligned}
 CC\ ex &= 2115 - 2100 = 15 \\
 CC\ ey &= 1697 - 1950 = -253 \\
 I_{cc} &= (1975)^2 + (1625)^2 + (800)^2 + (440)^2 + (100)^2 \\
 &\quad + (250)^2 + (650)^2 + (1000)^2 + (1350)^2 + (1700)^2 \\
 I_{cc} &= 13582350\ CC*mm^2 \\
 S_{cc1} &= 13582350 / 1975 = 6877\ CC-mm \\
 S_{cc10} &= 13582350 / 1700 = 7989\ CC-mm
 \end{aligned}$$

CC1 will resist the most shear due to vertical load
 and CC1, CC10 will resist the most horizontal load torsion.
 If V is the vertical force, then CC1 resists $V/10 + (15)V/(6877)$
 or $V_{cc1} = V/10 + 0.002 = 0.102V$
 If H is the horizontal load (seismic) then, $H_{cc1,cc10} = H/10$
 and $V_{cc1} = (253)H/(6877) = 0.037H$
 $V_{cc10} = (253)H/(7989) = 0.032H$



Calculation and Checking Service Shear Loads on CC Connectors

$$\begin{aligned}
 V &= W_{ext} = 23.33\ kN \\
 V_{cc1}(W) &= (0.102)(23.33) = 2.38\ kN < V_{all}(CC) = 2.84\ kN\ //OK
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{If } V(\text{seismic})_{\downarrow\uparrow} &= V(E) = (20\%)W_{ext}, \\
 \text{then } V(E) &= (0.2)(23.33) = 4.67\ kN \\
 V_{cc1}(E) &= (0.102)(4.67) = 0.48\ kN \\
 &\text{(This value will be used in the Ultimate Load Combinations)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{If } H(\text{seismic}) &= (40\%)W_{ext} \text{ then } H = (0.4)(23.33) = 9.33\ kN \\
 H\ \text{per}\ CC &= 9.33/10 = 0.93\ kN/CC \\
 \text{From Table 2 for CC weak axis, Use } H_{all}(CC) &= (\frac{2}{3})(V_{all}(CC)) \\
 H_{all}(CC) &= (\frac{2}{3})(2.84) = 1.89\ kN > 0.93\ kN\ //OK
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Additional } V \text{ on CC1 due to } H(e_y) &= (+/-)(0.037)(9.33) \\
 V_{cc1}(H) &= (+/-)0.34\ kN \\
 &\text{(This value will be used in the Ultimate Load Combinations)}
 \end{aligned}$$

Example 2 (cont'd)Temperature Shear Loads on CC Connectors

(Since the CC row is not at the mid-height of the panel, there will be some shear in the CC connectors due to temperature.

Use $\theta = 40$ K; $L/2 - XH = 0.300$ m

$$\delta = (1 \times 10^{-5})(40)(0.300)(1000) = 0.12 \text{ mm}$$

From Table 2 with insulation thickness of 100 mm, the shear due to a 1.73 deflection is 2.84 kN.

The shear due to a 0.12 mm deflection can be calculated by, $V(\text{CC}) = (0.12/1.73)(2.84 \text{ kN}) = 0.20 \text{ kN}$

Temperature Shear Loads on MS/MC Connectors

Use $\theta = 40$ K; $L/2 - XH = 1.550$ m

$$\delta = (1 \times 10^{-5})(40)(1.550)(1000) = 0.62 \text{ mm}$$

$$V(\text{MS/MC}), \text{ kN} = [(12 \times 30000 \times 243.5 \times \delta) / (dA^3)] / 1000$$

From Table 2, $dA = 111$ mm

$$V(\text{MS/MC}), \text{ kN} = 0.04 \text{ kN} < V_{\text{all}}(\text{MS/MC}) = 0.50 \text{ kN} // \text{OK}$$

Tensile Loads on All ConnectorsTensile Loads due to Wind

Use Wind Suction = 3.00 kN/m²

$$\text{Total Panel Area} = (3.3)(4.0) + (0.6)(0.6) = 13.56 \text{ m}^2$$

$$\text{Total Wind Force} = (3.00)(13.56) = 40.7 \text{ kN}$$

$$\text{Total \# Connectors} = (10)\text{CC} + (37)\text{MS} = 47$$

Wind Tension per MS and CC connector

$$= 40.7/47 = 0.87 \text{ kN}$$

$$< N_{\text{all}}(\text{CC}) = 3.34 \text{ kN and } < N_{\text{all}}(\text{MC/MS}) = 2.57 \text{ kN} // \text{OK}$$

Tensile Loads due to Seismic perpendicular to Panel Face

(from previous calculations)

$H = 9.33$ kN, then Tension Load per MS and CC Connector

$$= 9.33/47 = 0.20 \text{ kN (less than allowables //OK)}$$

Example 2 (cont'd)Now Check Ultimate Level Load Interactions

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) \leq 1$$

Note: Remember N_{rd} and V_{rd} are equal to twice the allowable values, $N_{rd} = (2)N_{allowable}$ and $V_{rd} = (2)V_{allowable}$

CC Connector Interactions

$$U = (1.4)Weight + (1.0)Seismic + 0.5(Wind + Temperature)$$

(Vertical Seismic)

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.0)(0.20) + 0.5(0.87 + 0) = 0.64 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.38) + (1.0)(0.48) + 0.5(0 + 0.20) = 3.91 \text{ kN}$$

Interaction

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((0.64)/(2)(3.34)) + ((3.91)/(2)(2.84))$$

$$= 0.10 + 0.69 = 0.79 < 1.0 \text{ OK//}$$

$$U = (1.4)Weight + (1.0)Seismic + 0.5(Wind + Temperature)$$

(Horizontal Seismic ← →)

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.0)(0) + 0.5(0.87 + 0) = 0.44 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.38) + (1.0)(0.93) + 0.5(0 + 0.20) = 4.36 \text{ kN}$$

Interaction

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((0.22)/(2)(3.34)) + ((4.36)/(2)(2.84))$$

$$= 0.03 + 0.77 = 0.80 < 1.0 \text{ OK//}$$

$$U = (1.4)Weight + (1.6)Wind + (0.5)Temperature$$

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.6)(0.87) + 0.5(0) = 1.39 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.38) + (1.6)(0) + 0.5(0.23) = 3.45 \text{ kN}$$

Interaction

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((1.39)/(2)(3.34)) + ((3.45)/(2)(2.84))$$

$$= 0.20 + 0.61 = 0.81 < 1.0 \text{ OK//}$$

MC/MS Connector Interactions

Note: Similar calculations as done for the CC connectors above could be done for the MC/MS connectors, but by comparing the loads against the capacities reveals that these calculations will not be needed.

算例 1:

$$A=12.96\text{m}^2; W_{ext}=(24)(12.96)(60/1000)=18.66\text{kN}$$

从表 2 绝缘层厚度一栏, $t=90\text{mm}$, 有:

$$V_{all}(CC)=2.99\text{kN} \text{ (每个 CC 连接器)}$$

(W_{ext} 乘以 1.15, 考虑扭矩作用)

$$\#CCr'_{qd}=(1.15)(18.66\text{kN})/(2.99\text{kN}/CC)=7.17$$

按上面的平面图, 试采用 8 个 CC 连接器:

$$\text{连接器总数}=(8)CC+(37)MC/MS=45$$

先试算不需要 CC 连接器, MC/MS 连接器需要多少个, 由文献[3]得, 使 MC/MS 连接器挠曲值小于 2.54mm 的最大剪力是 230N (0.23kN), 那么所需 MC/MS 连接器的个数则为:

$$(18.66\text{kN})/(0.23\text{kN})=(82)MC/MS$$

故, 主要的两种情况则是:

- 1) (37)MS/MC+(8)CC;
- 2) (82)MS/MC (大约是 400mm X 400mm 的布置)

确定 CC 上的剪力:

$$CC_{ex}=2115-1988=127$$

$$CC_{ey}=1697-1950=-253$$

$$I_{cc}=(1863)^2+(1513)^2+(688)^2+(188)^2+(312)^2+(812)^2+(1312)^2+(1812)^2=12030002 \text{ CC}\cdot\text{mm}^2$$

$$S_{cc1}=12030002/1863=6457 \text{ CC}\cdot\text{mm}$$

$$S_{cc8}=12030002/1812=6639 \text{ CC}\cdot\text{mm}$$

CC1 会承担大多数由重力荷载引起的剪力, 而且 CC1, CC8 会承担大多数水平荷载引起的扭矩。

设 V 是竖向荷载, 则 CC1 承受荷载为 $V/7+(127)V/(6457)$, 即 $V_{cc1}=V/8+0.020=0.145V$

设 H 为水平荷载, 则 $H_{cc1,cc8}=H/8$, $V_{cc1}=(253)H/(6457)=0.039H$, $V_{cc8}=(253)H/(6639)=0.038H$

$$V=W_{ext}=18.66\text{kN}$$

$$V_{cc1}(W)=(0.145)(18.66)=2.71\text{kN}<V_{all}(CC)=2.99\text{kN}, \text{ 满足}$$

若 V (地震) = $V(E)=(20\%)W_{ext}$, 那么 $V(E)=(0.2)(18.66)=3.73\text{kN}$, $V_{cc1}(E)=(0.145)(3.73)=0.54\text{kN}$ (该值将会用在极限荷载组合中)

若 H (地震) = $(40\%)W_{ext}$, 那么 $H=(0.4)(18.66)=7.46\text{kN}$, H (每个 CC 连接器) = $7.46/8=0.93\text{kN}$ 从表 2 中查找 CC 弱轴计算式, $H_{all}(CC)=(2/3)(V_{all}(CC))=(2/3)(2.99)=1.99\text{kN}>0.93\text{kN}$, 满足

由 $H(ey)$ 在 CC1 引起的附加剪力为 $V_{cc1}(H)=(+/-)0.29\text{kN}$ (该值将会用在极限荷载组合中)

CC 连接器上由温度产生的剪力

(由于 CC 连接器没有处在板高度中心处, 所以会因温度产生剪力)

令温差 θ 为 40K; $L/2-XH=0.300\text{m}$

$$\delta=(1\times 10^{-5})(40)(0.300)(1000)=0.12\text{mm}$$

从表 2 中查绝缘层厚度 90mm, 由挠曲 1.59mm 产生的剪力为 2.99kN, 利用插值算得 0.12mm 挠曲产生的剪力, $V(CC)=(0.12/1.59)(2.99\text{kN})=0.23\text{kN}$

MS/MC 连接器上由温度产生的剪力

令温差 θ 为 40K; $L/2-XH=1.550m$

$$\delta = (1 \times 10^{-5})(40)(1.550)(1000) = 0.62mm$$

$$V(MS/MC), kN = [(12 \times 30000 \times 243.5 \times \delta) / dA^3] / 1000$$

由表 2 得: $dA=102mm$

$$V(MS/MC), kN = 0.05kN < V_{all}(MS/MC) = 0.50kN, \text{ 满足}$$

所有连接器上的拉力

由风产生的拉力

风产生的吸力取 $3.00kN/m^2$

$$\text{板的总面积} = (3.3)(4.0) + (0.6)(0.6) = 13.56m^2$$

$$\text{总的风力} = (3.00)(13.56) = 40.7kN$$

$$\text{连接器的总数} = (8)CC + (37)MS = 45$$

每个 MS/MC 和 CC 连接器受到的风拉力 $= 40.7/45 = 0.90kN < N_{all}(CC) = 3.34kN$ 和 $N_{all}(MC/MS) = 2.57kN$, 满足

由垂直于板面的地震荷载引起的拉力

由前面计算结果得: $H=7.46kN$, 则每个 MS/MC 和 CC 连接器受到的拉力 $= 7.46/45 = 0.17kN$ (小于容许值, 满足)

校核极限荷载相互作用与组合

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) \leq 1$$

注意, N_{rd} 和 V_{rd} 是容许值的两倍

CC 连接器的荷载组合

$$U = (1.4)\text{自重} + (1.0)\text{竖向地震} + 0.5(\text{风} + \text{温度})$$

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.0)(0.17) + 0.5(0.90 + 0) = 0.62kN$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.71) + (1.0)(0.54) + 0.5(0 + 0.23) = 4.45kN$$

相互作用:

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((0.62)/(2)(3.34)) + ((4.45)/(2)(2.99)) = 0.09 + 0.74 = 0.83 < 1.0 \text{ 满足}$$

$$U = (1.4)\text{自重} + (1.0)\text{横向地震} + 0.5(\text{风} + \text{温度})$$

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.0)(0) + 0.5(0.90 + 0) = 0.45kN$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.71) + (1.0)(0.29) + 0.5(0 + 0.23) = 4.20kN$$

相互作用:

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((0.45)/(2)(3.34)) + ((4.20)/(2)(2.99)) = 0.07 + 0.70 = 0.77 < 1.0 \text{ 满足}$$

$$U = (1.4)\text{自重} + (1.6)\text{风} + 0.5(\text{温度})$$

$$\Sigma N = (1.4)(0) + (1.6)(0.90) + 0.5(0) = 1.44kN$$

$$\Sigma V = (1.4)(2.71) + (1.6)(0) + 0.5(0.23) = 3.91kN$$

相互作用:

$$(N_{sd}/N_{rd}) + (V_{sd}/V_{rd}) = ((1.44)/(2)(3.34)) + ((3.91)/(2)(2.99)) = 0.22 + 0.65 = 0.85 < 1.0 \text{ 满足}$$

MS/MC 连接器的荷载组合

注意: 和校核 CC 连接器的步骤相似, 但通过比较荷载大小和承载能力, 计算可以省略。

算例 2: (与算例 1 的几何尺寸相同, 绝缘层厚度为 100mm, 外叶墙厚度为 75mm)

$$A=12.96\text{m}^2; W_{ext}=(24)(12.96)(75/1000)=23.33\text{kN}$$

从表 2 绝缘层厚度一栏, $t=100\text{mm}$, 有:

$$V_{all}(CC)=2.84\text{kN} \text{ (每个 CC 连接器)}$$

(W_{ext} 乘以 1.15, 考虑扭矩作用)

$$\#CCr'qd=(1.15)(23.33\text{kN})/(2.84\text{kN}/CC)=9.44$$

按上面的平面图, 试采用 10 个 CC 连接器:

$$\text{连接器总数}=(10)CC+(37)MC/MS=47$$

先试算不需要 CC 连接器, MC/MS 连接器需要多少个, 由文献[3]得, 使 MC/MS 连接器挠曲值小于 2.54mm 的最大剪力是 160N (0.16kN), 那么所需 MC/MS 连接器的个数则为:
 $(23.33\text{kN})/(0.16\text{kN})=(146)MC/MS$

故, 主要的两种情况则是:

- 1) (37)MS/MC+(10)CC;
- 2) (146)MS/MC (大约是 300mm X 300mm 的布置)

确定 CC 上的剪力:

$$CC_{ex}=2115-2100=15$$

$$CC_{ey}=1697-1950=-253$$

$$I_{cc}=(1975)^2+(1625)^2+(800)^2+(440)^2+(100)^2+(250)^2+(650)^2+(1000)^2+(1350)^2+(1700)^2=13582350 \text{ CC}\cdot\text{mm}^2$$

$$S_{cc1}=13582350/1975=6877 \text{ CC}\cdot\text{mm}$$

$$S_{cc10}=13582350/1700=7989 \text{ CC}\cdot\text{mm}$$

CC1 会承担大多数由重力荷载引起的剪力, 而且 CC1, CC10 会承担大多数水平荷载引起的扭矩。

设 V 是竖向荷载, 则 CC1 承受荷载为 $V/10+(15)V/(6877)$, 即 $V_{cc1}=V/10+0.002=0.102V$

设 H 为水平荷载, 则 $H_{cc1,cc8}=H/10$, $V_{cc1}=(253)H/(6877)=0.037H$, $V_{cc8}=(253)H/(7989)=0.032H$

$$V=W_{ext}=23.33\text{kN}$$

$$V_{cc1}(W)=(0.102)(23.33)=2.38\text{kN}<V_{all}(CC)=2.84\text{kN}, \text{ 满足}$$

若 V (地震) = $V(E)=(20\%)W_{ext}$, 那么 $V(E)=(0.2)(23.33)=4.67\text{kN}$, $V_{cc1}(E)=(0.102)(4.67)=0.48\text{kN}$ (该值将会用在极限荷载组合中)

若 H (地震) = $(40\%)W_{ext}$, 那么 $H=(0.4)(23.33)=9.33\text{kN}$, H (每个 CC 连接器) = $9.33/10=0.93\text{kN}$ 从表 2 中查找 CC 弱轴计算式, $H_{all}(CC)=(2/3)(V_{all}(CC))=(2/3)(2.84)=1.89\text{kN}>0.93\text{kN}$, 满足

由 H(ey)在 CC1 引起的附加剪力为 $V_{cc1}(H)=(+/-)0.34\text{kN}$ (该值将会用在极限荷载组合中)

CC 连接器上由温度产生的剪力

(由于 CC 连接器没有处在板高度中心处, 所以会因温度产生剪力)

令温差 θ 为 40K; $L/2-XH=0.300\text{m}$

$$\delta=(1\times 10^{-5})(40)(0.300)(1000)=0.12\text{mm}$$

从表 2 中查绝缘层厚度 100mm，由挠曲 1.73mm 产生的剪力为 2.84kN，利用插值算得 0.12mm 挠曲产生的剪力， $V(CC)=(0.12/1.73)(2.84kN)=0.20kN$

MS/MC 连接器上由温度产生的剪力

令温差 θ 为 40K； $L/2-XH=1.550m$

$$\delta=(1 \times 10^{-5})(40)(1.550)(1000)=0.62mm$$

$$V(MS/MC),kN=[(12 \times 30000 \times 243.5 \times \delta)/dA^3]/1000$$

由表 2 得： $dA=111mm$

$$V(MS/MC),kN=0.04kN < V_{all}(MS/MC)=0.50kN, \text{ 满足}$$

所有连接器上的拉力

由风产生的拉力

风产生的吸力取 3.00kN/m²

$$\text{板的总面积}=(3.3)(4.0)+(0.6)(0.6)=13.56m^2$$

$$\text{总的风力}=(3.00)(13.56)=40.7kN$$

$$\text{连接器的总数}=(10)CC+(37)MS=47$$

每个 MS/MC 和 CC 连接器受到的风拉力= $40.7/47=0.87kN < N_{all}(CC)=3.34kN$ 和 $N_{all}(MC/MS)=2.57kN$ ，满足

由垂直于板面的地震荷载引起的拉力

由前面计算结果得： $H=9.33kN$ ，则每个 MS/MC 和 CC 连接器受到的拉力= $9.33/47=0.20kN$ （小于容许值，满足）

校核极限荷载相互作用与组合

$$(N_{sd}/N_{rd})+(V_{sd}/V_{rd}) \leq 1$$

注意， N_{rd} 和 V_{rd} 是容许值的两倍

CC 连接器的荷载组合

$$U=(1.4)\text{自重}+(1.0)\text{竖向地震}+0.5(\text{风}+\text{温度})$$

$$\Sigma N=(1.4)(0)+(1.0)(0.20)+0.5(0.87+0)=0.64kN$$

$$\Sigma V=(1.4)(2.38)+(1.0)(0.48)+0.5(0+0.20)=3.91kN$$

相互作用：

$$(N_{sd}/N_{rd})+(V_{sd}/V_{rd})=((0.64)/(2)(3.34))+((3.91)/(2)(2.84))=0.10+0.69=0.79 < 1.0 \text{ 满足}$$

$$U=(1.4)\text{自重}+(1.0)\text{横向地震}+0.5(\text{风}+\text{温度})$$

$$\Sigma N=(1.4)(0)+(1.0)(0)+0.5(0.87+0)=0.44kN$$

$$\Sigma V=(1.4)(2.38)+(1.0)(0.93)+0.5(0+0.20)=4.36kN$$

相互作用：

$$(N_{sd}/N_{rd})+(V_{sd}/V_{rd})=((0.22)/(2)(3.34))+((4.36)/(2)(2.84))=0.03+0.77=0.80 < 1.0 \text{ 满足}$$

$$U=(1.4)\text{自重}+(1.6)\text{风}+0.5(\text{温度})$$

$$\Sigma N=(1.4)(0)+(1.6)(0.87)+0.5(0)=1.39kN$$

$$\Sigma V=(1.4)(2.38)+(1.6)(0)+0.5(0.23)=3.45kN$$

相互作用：

$$(N_{sd}/N_{rd})+(V_{sd}/V_{rd})=((1.39)/(2)(3.34))+((3.45)/(2)(2.84))=0.20+0.61=0.81 < 1.0 \text{ 满足}$$

MS/MC 连接器的荷载组合

注意：和校核 CC 连接器的步骤相似，但通过比较荷载大小和承载能力，计算可以省略。