







3. 小中断面柱・はりの防火被覆の炭化抑制効果に関する実験 [イ・ロ]

3. 1 はりの防火被覆の炭化抑制効果に関する比較実験 (KB-1)

3. 1. 1 実験概要

本実験の概要一覧を表 3. 1. 1-1 に示す。本実験では、住宅用小中断面のはりについて、1 時間準耐火性能を目標に、木材被覆による炭化抑制効果及び、留付方法等の差違による被覆材の脱落抑制効果を明らかにすることを目的とする。実験は、柱よりもはりの方が、自重の影響により被覆材の脱落が早いことから、小型の集成材はり（異等級構成構造用集成材 E65-F225、スギ）により比較実験を実施した。

表 3. 1. 1-1 実験概要一覧 (KB-1)

| 部材種類 | 試験体No. | 仕様 (mm) | 載荷荷重 | 加熱時間 | 構造躯体炭化開始時間 (260°C到達時間) | | 実験主旨 | 実験場所 | 実験日程 |
|----------------|--------|---|---------|------|------------------------|-------|------|------|-------|
| | | | | | 出隅部 | 一般部 | | | |
| 小型はり (比較実験) | KB-1 |  T1 スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)60厚 (留め間隔:200) | 内部温度計測用 | 60分 | 49.5分 | 達せず | イ・ロ | 理科大 | 8月27日 |
| | |  T2 スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚×2枚張り (留め間隔:200) | | | 51.3分 | 達せず | | | |
| | |  T3 スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)45厚 (留め間隔:200) | | | 37.1分 | 41.7分 | | | |
| | |  T4 スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚+15厚 (留め間隔:200) | | | 35.8分 | 39.7分 | | | |
| | |  T5 スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚/ビス留め (留め間隔:200) | | | 19分 | 26分 | | | |
| | |  T6 スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚/接着剤 | | | 24.5分 | 28.3分 | | | |

(イ)防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
(ロ)防火被覆の脱落抑制に関する実験
(ハ)複合部材、取合部の防火上有効な措置に関する実験

3. 1. 2 試験体概要

試験体図を図 3. 1. 2-1～9 に示す。集成材はりの寸法は、幅 W105mm×成 H240mm×長さ L1,000mm とし、木材被覆の厚さ及び構成・留付方法の異なる 6 種類の試験体(KB-1 T1～T6)を設計した。なお、試験体の比重及び含水率は次頁の表 3. 1. 2-1 に示す。

(1) KB-1 T1

W105mm×H240mm の集成材はりに 60mm 厚のスギ板を張った。スギ板は、コーススレッドビス φ 4.0mm×L90mm（長辺方向：留付間隔 200mm、短辺方向：端部 2 箇所（200mm 以下））にて留め付けた。

(2) KB-1 T2

W105mm×H240mm の集成材はりに 30mm 厚のスギ板を 2 枚重ねて張った。スギ板は、下張り材をコーススレッドビスφ3.8mm×L51mm、上張り材はコーススレッドビスφ4.0mm×L90mm（長辺方向：留付間隔 200mm、短辺方向：端部 2 箇所（200mm 以下））にて留め付けた。

(3) KB-1 T3

W105mm×H240mm の集成材はりに 45mm 厚のスギ板張った。スギ板は、コーススレッドビスφ3.8mm×L75mm（長辺方向：留付間隔 200mm、短辺方向：端部 2 箇所（200mm 以下））にて留め付けた。

(4) KB-1 T4

W105mm×H240mm の集成材はりに 30mm 厚のスギ板と 15mm 厚のスギ板を 2 枚重ねて張った。スギ板は、下張り材（30 厚）をコーススレッドビスφ3.8mm×L51mm、上張り材（厚 15）はコーススレッドビスφ3.8mm×L75mm（長辺方向：留付間隔 200mm、短辺方向：端部 2 箇所（200mm 以下））にて留め付けた。

(5) KB-1 T5

W105mm×H240mm の集成材はりに 30mm 厚のスギ板を張った。スギ板は、コーススレッドビスφ3.8mm×L51mm（長辺方向：留付間隔 200mm、短辺方向：端部 2 箇所（200mm 以下））にて留め付けた。

(6) KB-1 T6

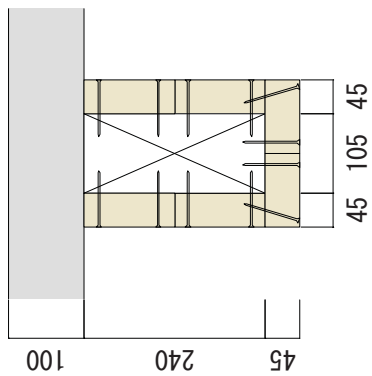
W105mm×H240mm の集成材はりに 30mm 厚のスギ板を張った。スギ板は、ポリウレタン樹脂系接着剤（塗布量 500g/m²）で張り付けた。

表 3.1.2-1 試験体の比重及び含水率(KB-1)

| 厚み [mm] | 木材被覆 | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 15 | | | 30 | | | 45 | | |
| サンプル番号 | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| 比重 [g/cm ³] | 0.40 | 0.39 | 0.38 | 0.42 | 0.41 | 0.39 | 0.30 | 0.31 | 0.29 |
| 含水計Kett [%] | 10.50 | 10.00 | 10.50 | 13.00 | 12.50 | 11.00 | 10.00 | 10.50 | 10.00 |
| 含水率 [%] | 10.51 | 10.65 | 10.78 | 11.09 | 11.89 | 11.14 | 11.24 | 11.02 | 11.30 |

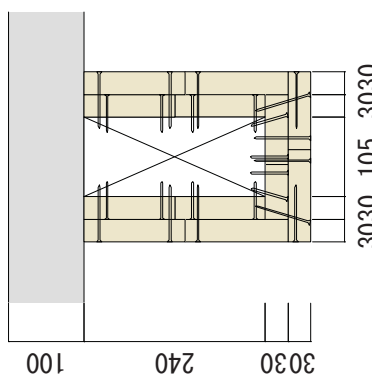
| 厚み [mm] | 木材被覆 | | | 荷重支持部 | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 60 | | | 集成材 | | |
| サンプル番号 | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| 比重 [g/cm ³] | 0.32 | 0.29 | 0.33 | 0.40 | 0.40 | 0.39 |
| 含水計Kett [%] | 10.50 | 10.00 | 14.00 | 13.50 | 11.00 | 11.50 |
| 含水率 [%] | 11.18 | 11.21 | 13.27 | 11.05 | 10.91 | 10.91 |

| サンプルサイズ | |
|---------|-----|
| 木板(スギ) | |
| 長さ [mm] | 150 |
| 集成材(スギ) | |
| 長さ [mm] | 210 |



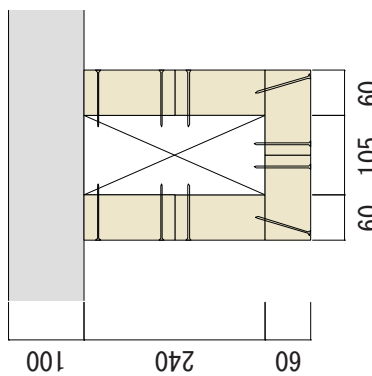
T3 (スギ45厚)

コーススレッドビス $\phi 3.8 \times L75$ @200



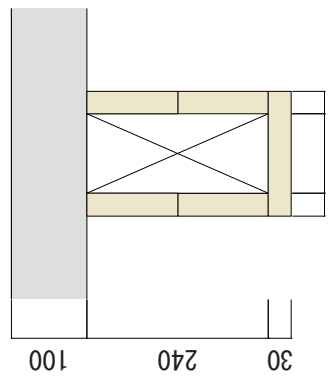
T2 (スギ30厚+スギ30厚)

下張り コーススレッドビス $\phi 3.8 \times L51$ @200
上張り コーススレッドビス $\phi 4.0 \times L90$ @200



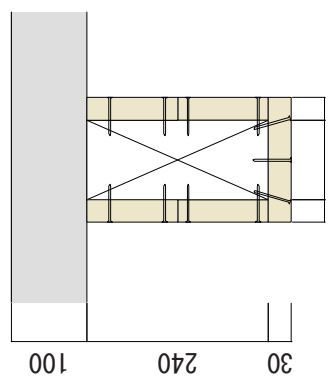
T1 (スギ60厚)

コーススレッドビス $\phi 4.0 \times L90$ @200



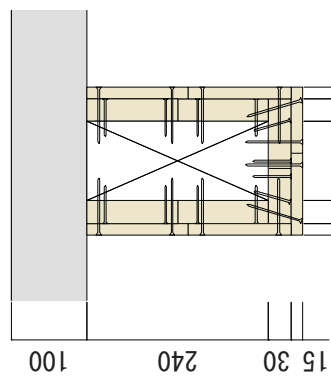
T6 (スギ30厚)

ポリウレタン樹脂系接着剤 500g/m²



T5 (スギ30厚)

コーススレッドビス $\phi 3.8 \times L51$ @200



T4 (スギ30厚+スギ15厚)

下張り コーススレッドビス $\phi 3.8 \times L51$ @200
上張り コーススレッドビス $\phi 3.8 \times L75$ @200

図 3.1.2-1 試験体図 (T1~T6)

| | | |
|-------|------------------|--|
| Title | 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 | |
| | 試験体図 (T1~T6) | |
| Scale | 1/10 (A4) | |
| Date | 2015. 08. 27 | |

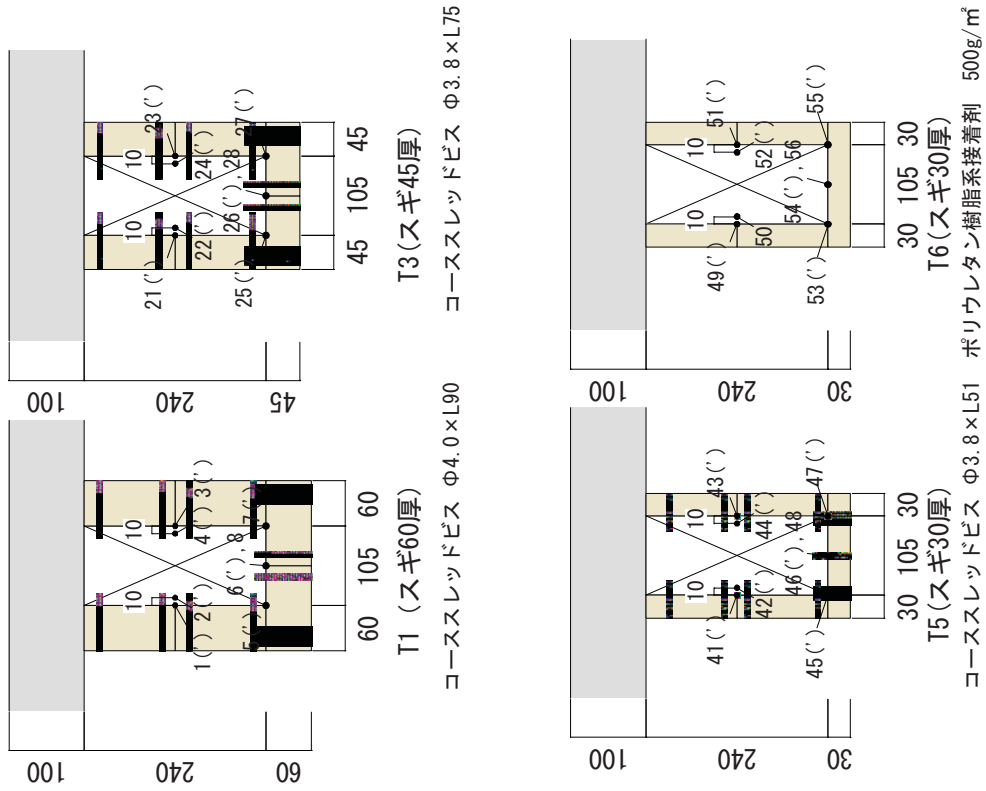
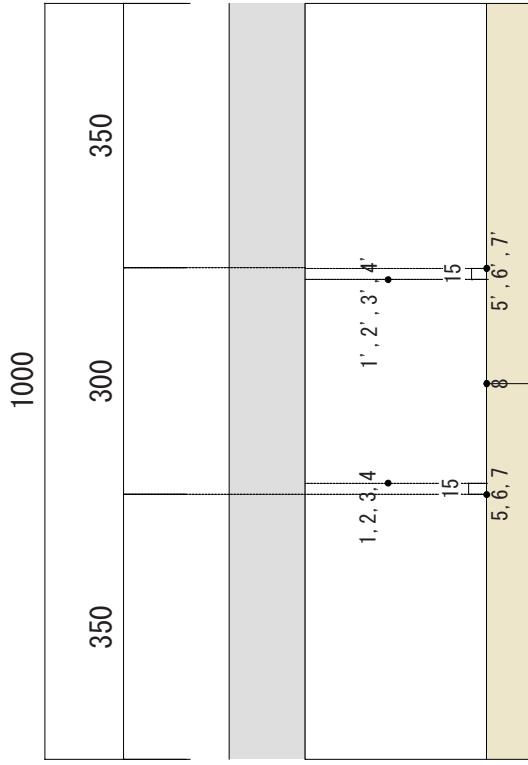


図 3.1.2-2 熱電対配置図 (T1, 3, 5, 6)



[T1熱電対]

2, 4, 2', 4' : 梁内部温度
 1, 3, 5, 7, 1', 3', 5', 7' : 梁表面温度
 8 : 被覆材目地裏温度

[T3熱電対]

22, 24, 22', 24' : 梁内部温度
 21, 23, 25, 27, 21', 23', 25', 27' : 梁表面温度
 28 : 被覆材目地裏温度

[T5熱電対]

42, 44, 42', 44' : 梁内部温度
 41, 42, 45, 47, 41', 42', 45', 47' : 梁表面温度
 48 : 被覆材目地裏温度

[T6熱電対]

50, 52, 50', 52' : 梁内部温度
 49, 51, 53, 55, 49', 51', 53', 55' : 梁表面温度
 56 : 被覆材目地裏温度

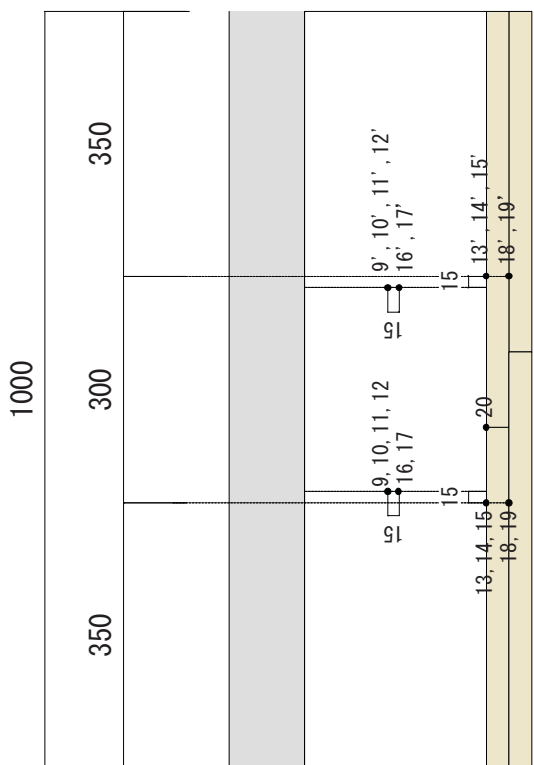
Title

木材被覆小型梁加熱実験 KB-1

熱電対配置図 (T1, 3, 5, 6)

Scale 1/10 (A4)

Date 2015. 08. 27

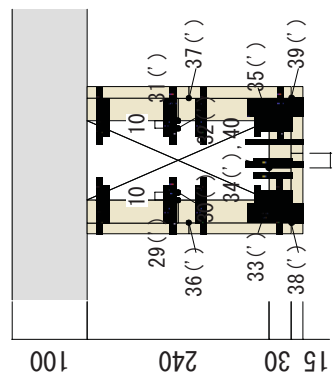


[T2熱電対]

10, 12, 10', 12' : 梁内部温度
 9, 11, 13-15, 9', 11', 13', 15' : 梁表面温度
 16-19, 16', 17', 18', 19' : 被覆材間温度
 20 : 下張り被覆材目地裏温度

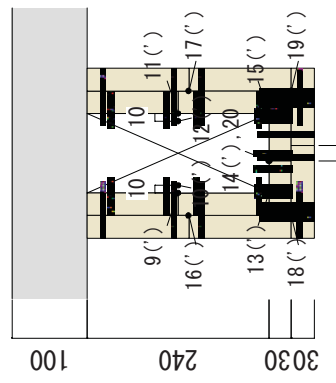
[T4熱電対]

30, 32, 30', 32' : 梁内部温度
 29, 31, 33-35, 29', 31', 33', 35' : 梁表面温度
 36-39, 36', 37', 38', 39' : 梁内部温度
 40 : 下張り被覆材目地裏温度



T4(スギ30厚+スギ15厚)

下張り コーススレッドビス Φ3.8×L51
 上張り コーススレッドビス Φ3.8×L75



T2(スギ30厚+スギ30厚)

下張り コーススレッドビス Φ3.8×L51
 上張り コーススレッドビス Φ4.0×L90

図 3.1-2.1.1.1 (T2, T4) 熱電対配置図

| | | |
|-------|------------------|--|
| Title | 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 | |
| | 熱電対配置図 (T2, T4) | |
| Scale | 1/10 (A4) | |
| Date | 2015. 08. 27 | |

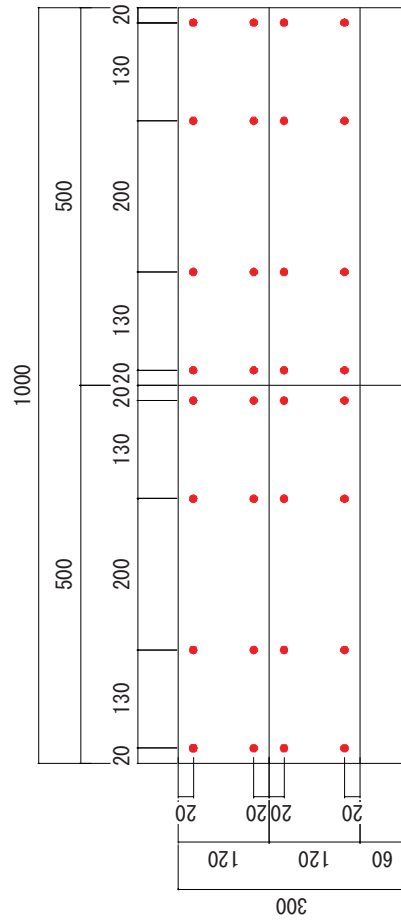
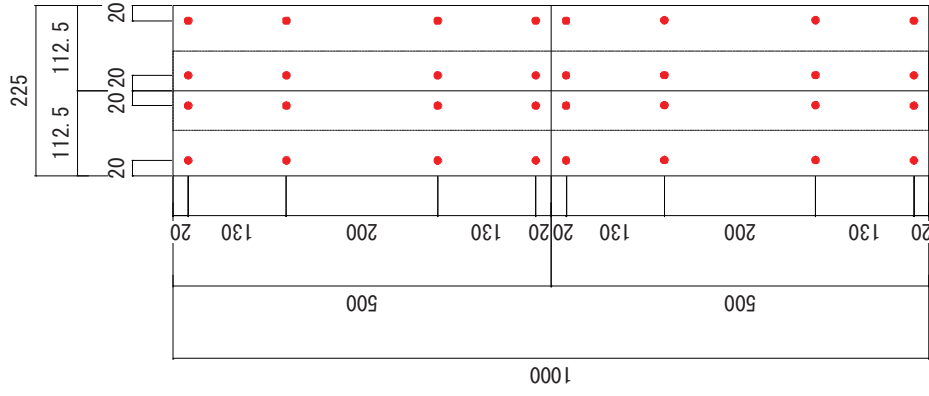
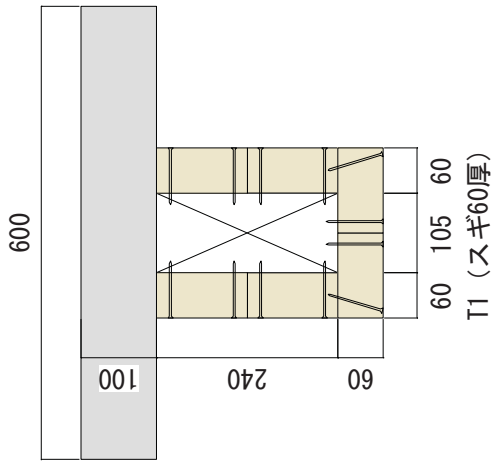
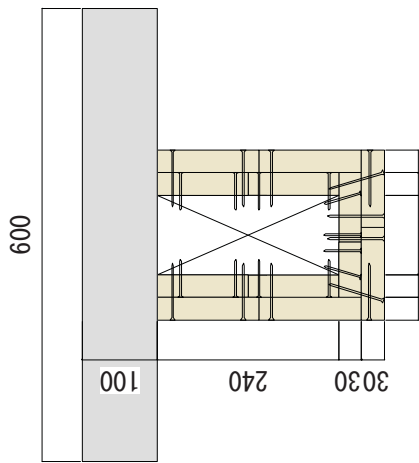


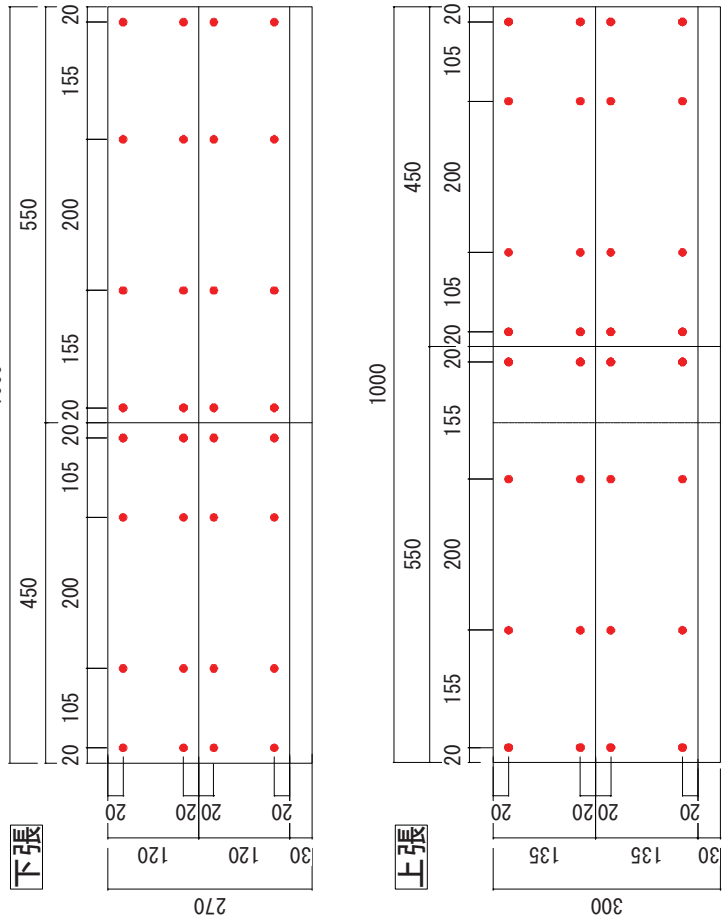
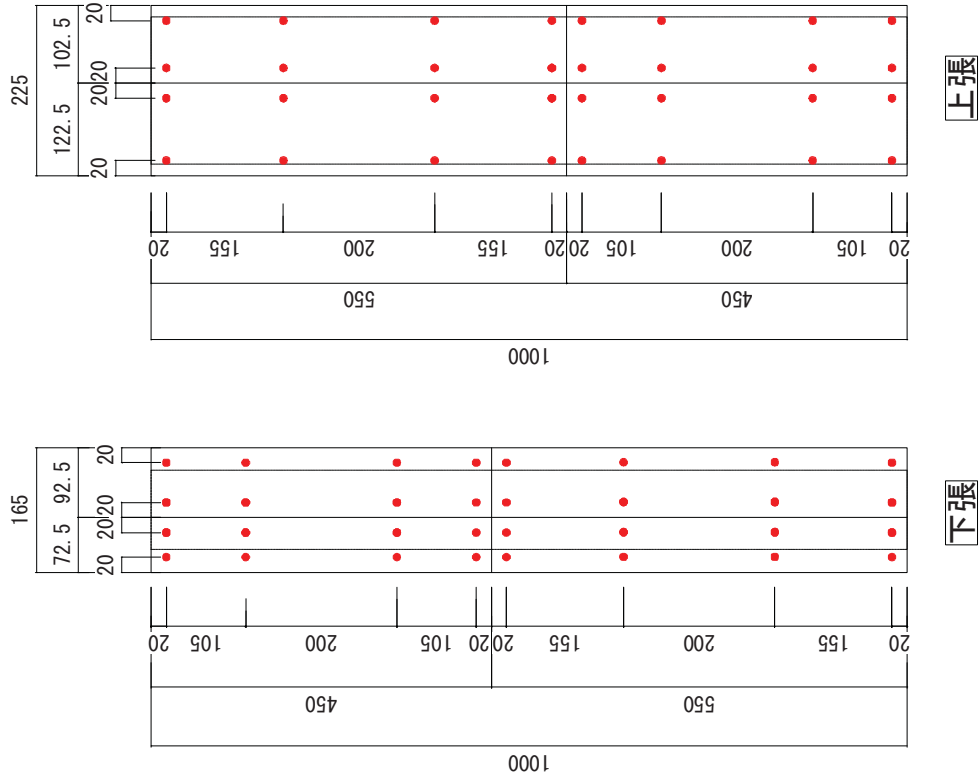
図 3.1.2-4 被覆材割付図 (T1)

| | | |
|---------------------------------------|-------|------------|
| Title 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 被覆材割付図 (T1) | Scale | 1/10 (A4) |
| | Date | 2015.08.27 |



3030 105 3030
T2 (スギ30厚+スギ30厚)

図 3.1.2-5 被覆材割付図 (T2)



| | | | |
|------------------------------|--|------------|--|
| Title | | Scale | |
| 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 被覆材割付図 (T2) | | 1/10 (A4) | |
| | | Date | |
| | | 2015.08.27 | |

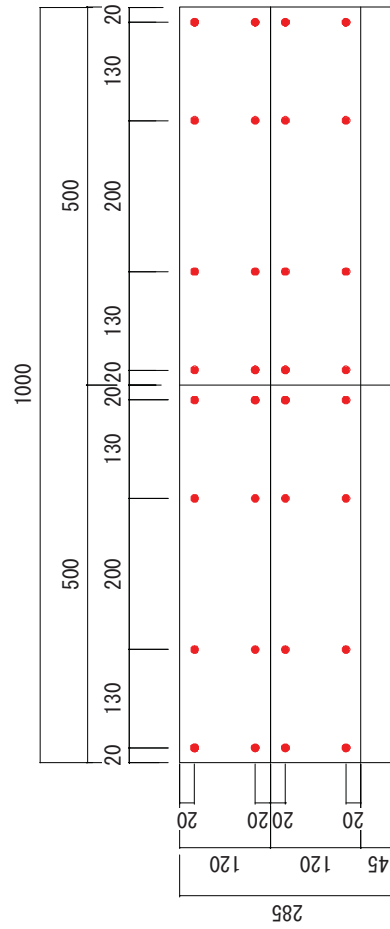
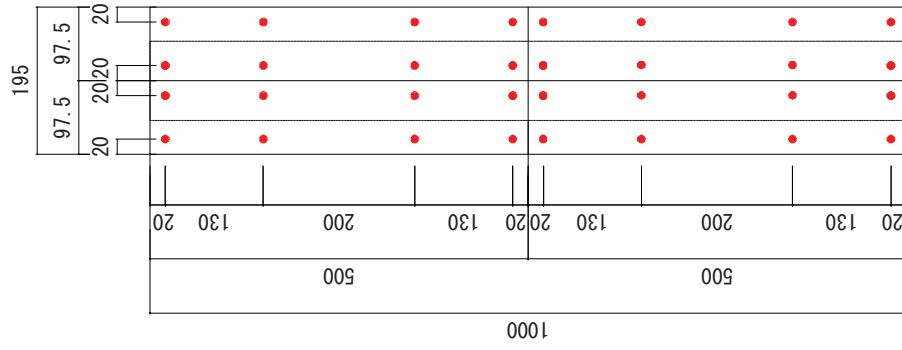
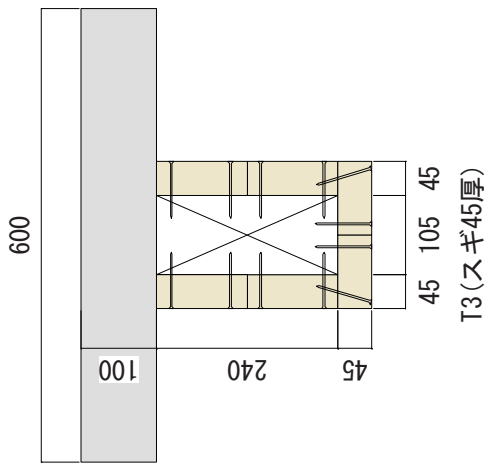
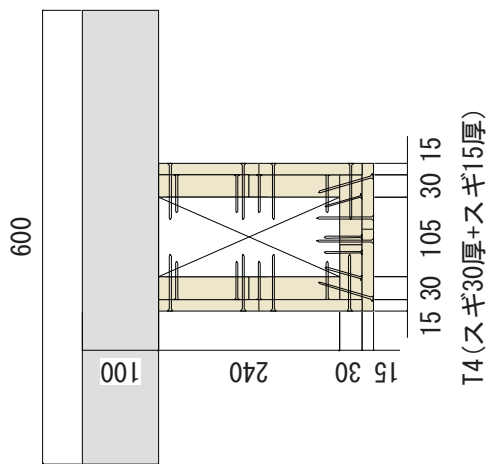


図 3.1.2-9 被覆材割付図 (T3)

| | |
|--|--------------------|
| Title 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 被覆材割付図 (T3) | Scale 1/10 (A4) |
| | Date 2015.08.27 |



T4 (スギ30厚+スギ15厚)

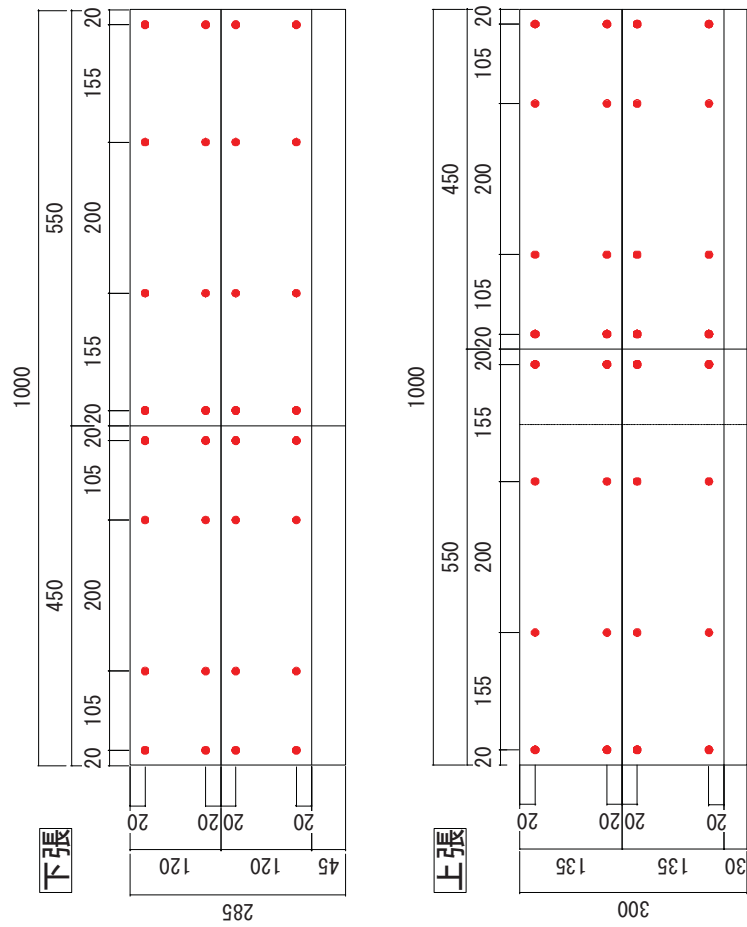
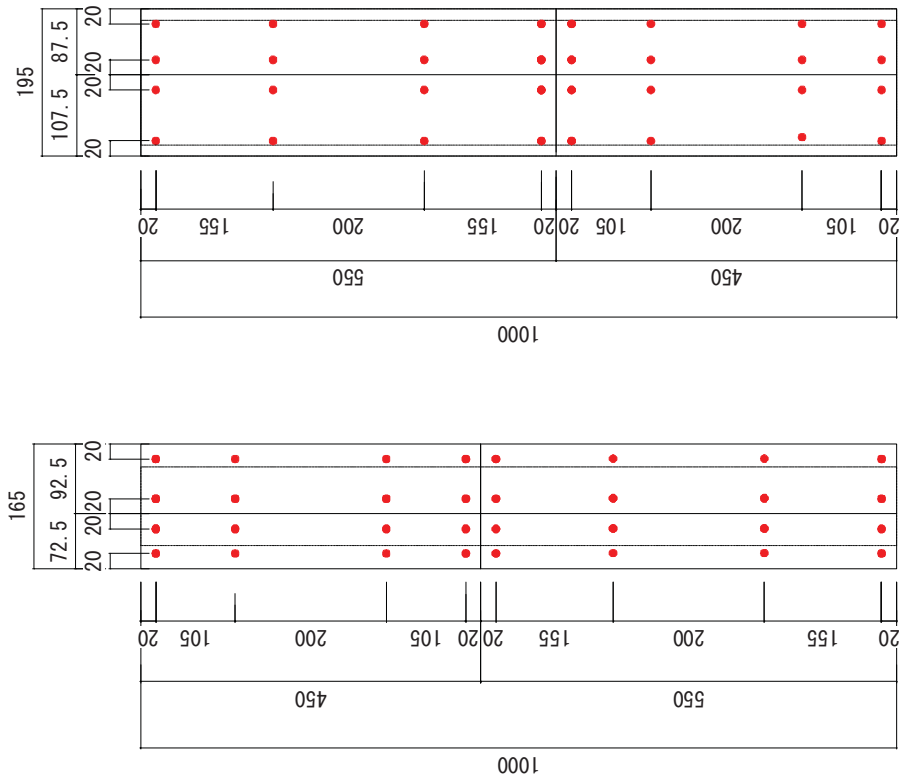


図 3.1.2- 被覆材割付図 (T4)



下張

上張

| | | | |
|------------------------------|--|-------|------------|
| Title | | Scale | 1/10 (A4) |
| 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 被覆材割付図 (T4) | | Date | 2015.08.27 |

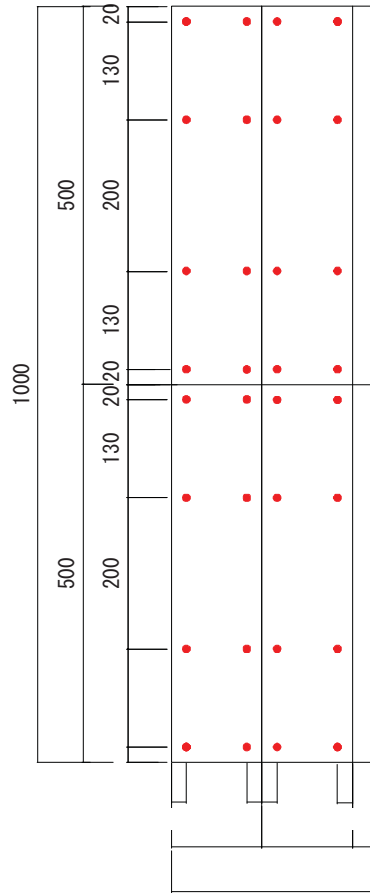
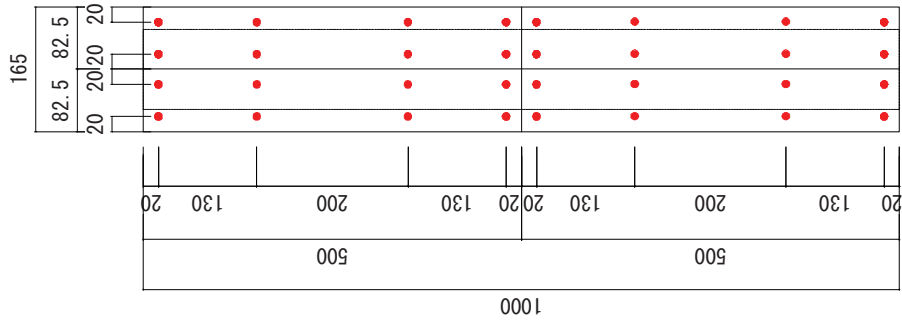
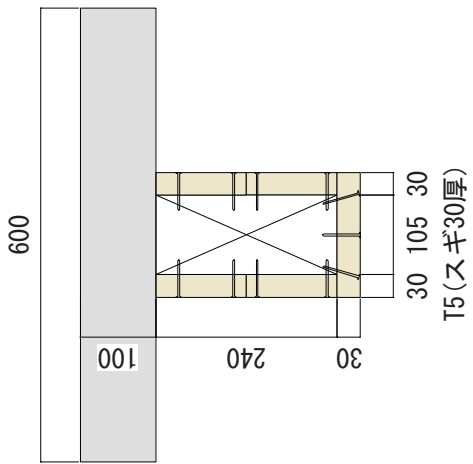


図 3.1.2-8 被覆材割付図 (T5)

| | |
|---------------------------------------|--------------------|
| Title 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 被覆材割付図 (T5) | Scale 1/10 (A4) |
| | Date 2015.08.27 |

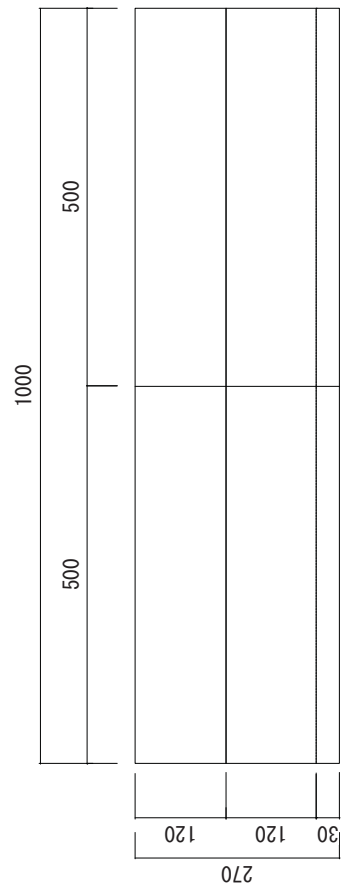
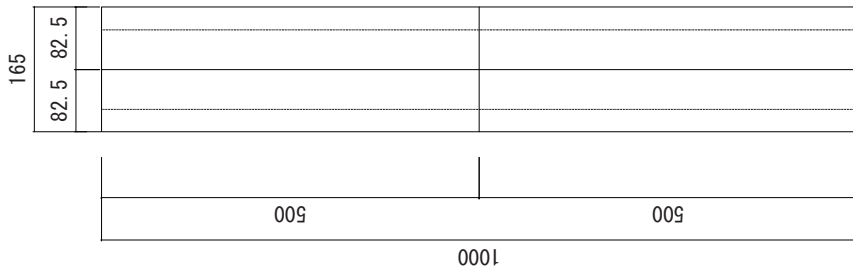
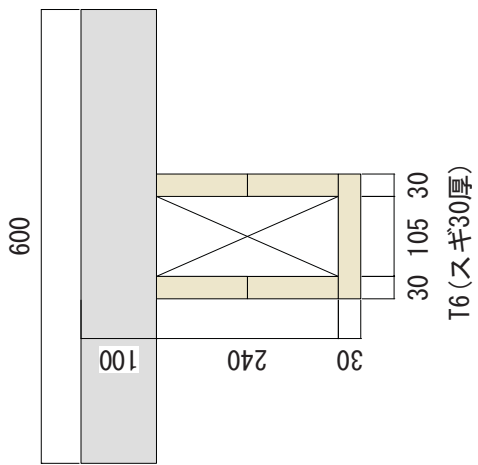


図 3.1.2-9 被覆材割付図 (T6)

| | | |
|---------------------------------------|-------|------------|
| Title 木材被覆小型梁加熱実験 KB-1 被覆材割付図 (T6) | Scale | 1/10 (A4) |
| | Date | 2015.08.27 |

3. 1. 3 実験方法

本実験は、下記日時及び場所で実験を実施し、(1)～(4)に則して実験を実施した。

■実験日時：2015年8月27日(木)

■実験場所：学校法人 東京理科大学

(同研究推進機構火災科学研究センター)・水平炉

(1) 加熱方法

IS0834に規定する標準加熱曲線に準拠し60分間を目標に加熱を行った。ただし、安全上に問題がある場合は試験を中止する事とした。水平炉の試験体配置図を図3.1.3-1～3に示す。

(2) 載荷方法

本実験は、加熱試験による小型試験体の性能比較実験のため、非載荷とした。

(3) 測定項目

①試験体内部温度

K熱電対を試験体の各測定位置に取り付け、温度を5秒間隔で測定した。

②炉内温度

シー型K熱電対を試験体表面から10mm離れた位置に6点配置し、耐火炉内温度を5秒間隔で測定した。

③たわみ量

非載荷試験のため、計測なしとした。

④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した。

⑤炭化速度

試験終了後、試験体内部温度測定の各計測点について、測定深さ(mm)(試験体表面からの測定点までの距離)を(mm)、260℃到達時間(分)で除した値を炭化速度(mm/分)として算定した。

$$\text{炭化速度 (mm/分)} = \text{測定深さ (mm)} \div \text{260℃到達時間 (分)}$$

⑥含水率

試験体に使用した木材よりサンプルを採取し、試験体と同状況下で養生した後、乾燥炉(105℃)に入れ乾燥させて試験体の含水率を算定した。木材の含水率の計算式を下記に示す。

$$\text{含水率 (\%)} = \{(\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}\} \times 100$$

⑦その他

試験体加熱面の目視観察、写真撮影等を行った。

(4) 防耐火性能の評価

本実験の評価方法は、非載荷による加熱試験を実施したため、試験後のはりの炭化状況により非損傷性を推定する。ただし、目標時間における防耐火性能の余力を観察するため、加熱は60分で停止した。

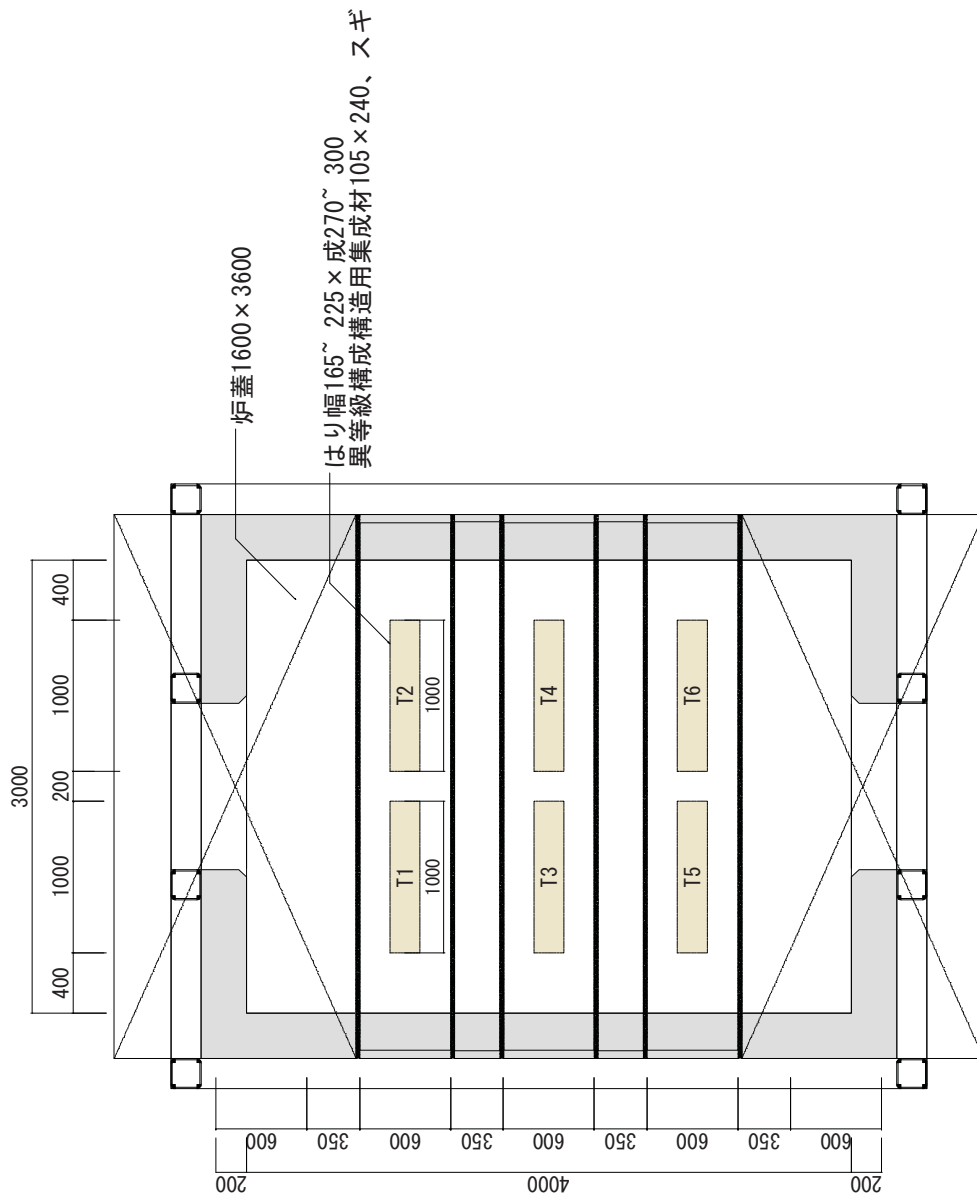


図 3.1.3-1 炉内配置図（上面）

| | | |
|--------------------------|-------|------------|
| Title 木材被覆小型梁加熱実験KB-1 | Scale | 1/50 (A4) |
| | Date | 2015.08.27 |

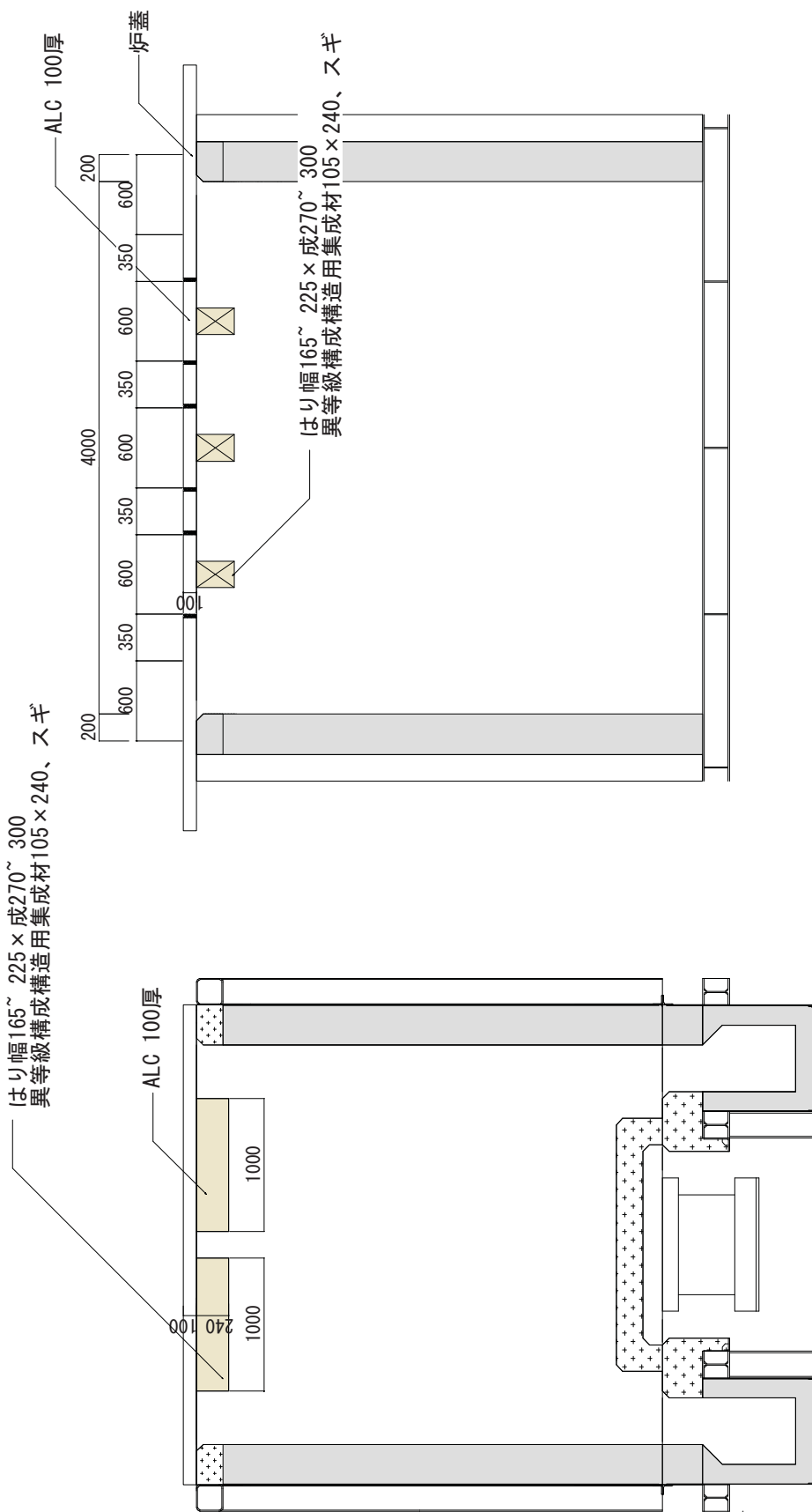


図 3.1.3-2 炉内配置図 (断面)

| | | |
|--------------------------|-------|--------------|
| Title 木材被覆小型梁加熱実験KB-1 | Scale | 1/50 (A4) |
| | Date | 2015. 08. 27 |

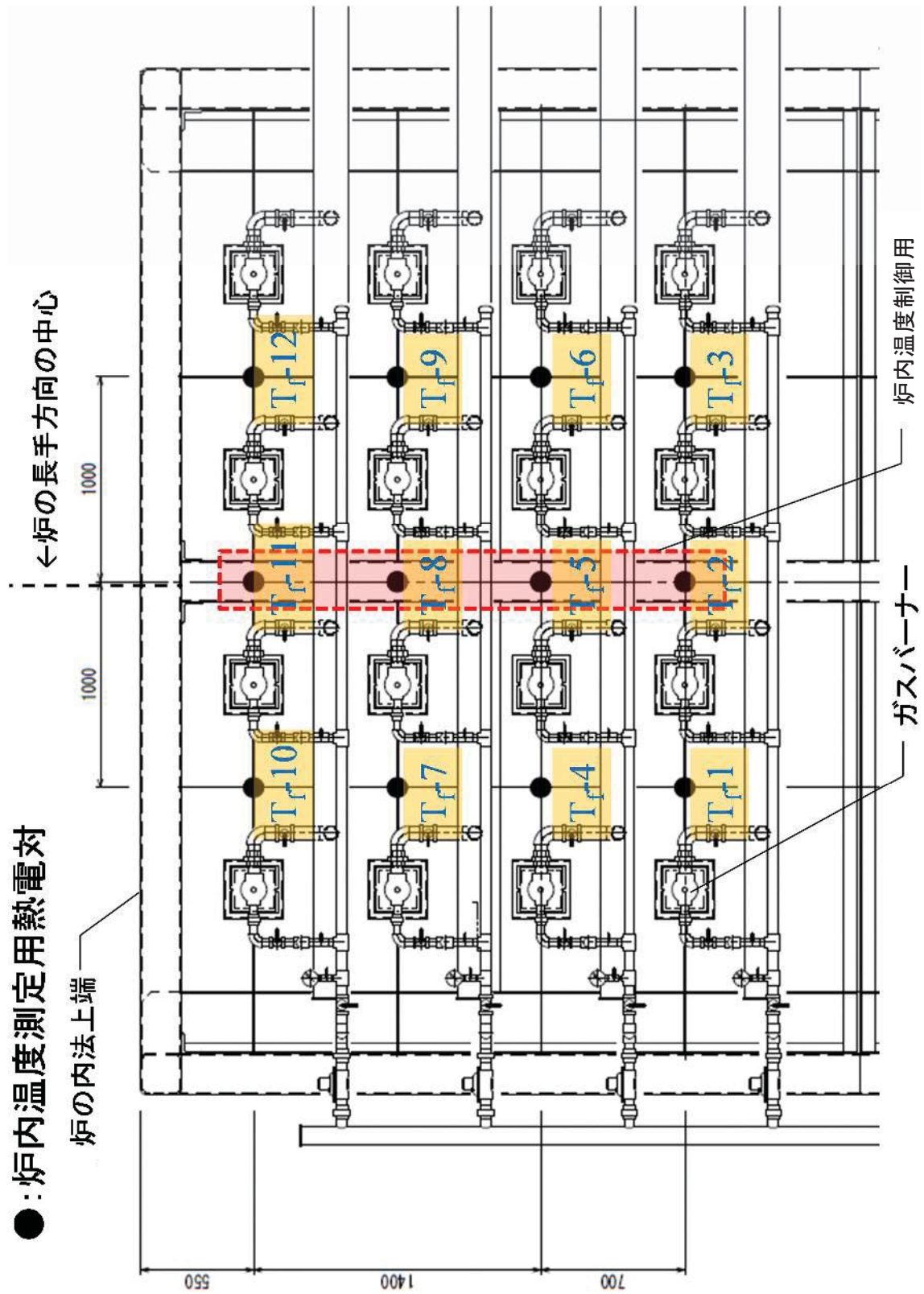


図 3.1.3-3 耐火炉の炉内温度測定位置

3. 1. 4 実験結果及び考察

以降に、(1) 実験経過観察、(2) 炉内・試験体各部温度推移、(3) 炭化性状、(4) 考察を記載する。

(1) 実験経過観察

実験開始から終了までの観察記録を表3.1.4-1に、記録写真を写真3.1.4-1～22に示す。加熱開始約19分後にT4の上張材（スギ板15mm厚）が脱落し始め、その後30分後にT5,6の被覆材（スギ板30mm厚）、34分後にT2の上張材（スギ板30mm厚）の隅角部、50分後にT3の被覆材（スギ板45mm厚）が順次脱落した。T1の被覆材（スギ板60mm厚）は、加熱終了まで脱落しなかった。加熱は60分間で終了した後、脱炉し、断続的に10分間放水した。

表 3. 1. 4-1 観察記録 (KB-1)

| KB-1 | | | |
|---------|------------------|---------|------|
| 経過時間 | 加熱面 | 経過時間 | 非加熱面 |
| | 変化内容 | | 変化内容 |
| 0:00:00 | 着火 | | |
| 0:19:28 | T4 下面中央部被覆材上張り脱落 | | |
| 0:22:58 | T4 側面被覆材上張り脱落 | | |
| 0:30:01 | T5 被覆材脱落開始 | | |
| 0:33:16 | T6 被覆材脱落開始 | | |
| 0:33:52 | T2 目地角部被覆材上張り脱落 | | |
| 0:33:59 | T5 側面被覆材脱落 | | |
| 0:34:08 | T6 被覆材大きく脱落 | | |
| 0:38:50 | T2 側面被覆材脱落 | | |
| 0:41:26 | T6 被覆材がポロポロと落ちる | | |
| 0:41:56 | T3 被覆材目地部が開き始める | | |
| 0:50:35 | T3 被覆材脱落開始 | | |
| 0:52:55 | T1 目地部開くが脱落せず | | |
| 1:00:00 | 消火 | | |
| | | 1:01:47 | 脱炉 |
| | | 1:02:56 | 放水開始 |
| | | 1:08:55 | 放水完了 |
| | | 1:12:03 | 再度放水 |
| | | 1:12:36 | 放水完了 |
| | | | |
| | | | |

記録写真



写真 3.1.4-1 加熱前炉内の試験体配置

右上から試験体番号 T1, 2, 3, 4, 5, 6

T1 : スギ 60mm 厚

T2 : スギ 30mm 厚 + スギ 30mm 厚

T3 : スギ 45mm 厚

T4 : スギ 30mm 厚 + スギ 15mm 厚

T5 : スギ 30mm 厚 (ビス)

T6 : スギ 30mm 厚 (接着材)



写真 3.1.4-2 炉内温度測定位置

試験体表面から

炉内温度計測点までの距離 : 100mm



写真 3.1.4-3 加熱前 (T1)



写真 3.1.4-4 加熱前 (T1)



写真 3.1.4-5 加熱前 (T2)



写真 3.1.4-6 加熱前 (T2)



写真 3.1.4-7 加熱前(T3)



写真 3.1.4-8 加熱前(T3)



写真 3.1.4-9 加熱前(T4)



写真 3.1.4-10 加熱前(T4)



写真 3.1.4-11 加熱前(T5)



写真 3.1.4-12 加熱前(T5)



写真 3.1.4-13 加熱前(T6)



写真 3.1.4-14 加熱前(T6)



写真 3.1.4-15 加熱開始 10 分

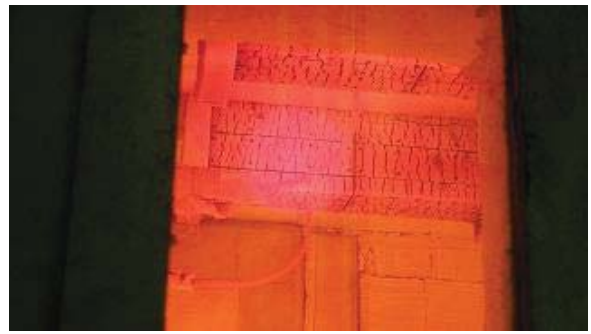


写真 3.1.4-16 加熱開始 20 分



写真 3.1.4-17 加熱開始 30 分



写真 3.1.4-18 加熱開始 40 分

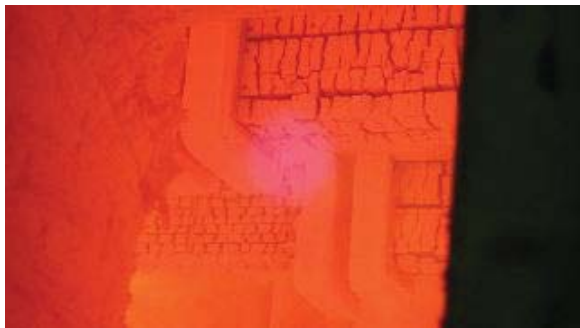


写真 3.1.4-19 加熱開始 50 分



写真 3.1.4-20 加熱開始 55 分

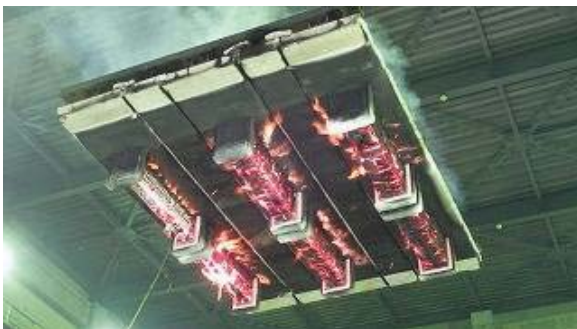


写真 3.1.4-21 加熱終了後 (脱炉時)

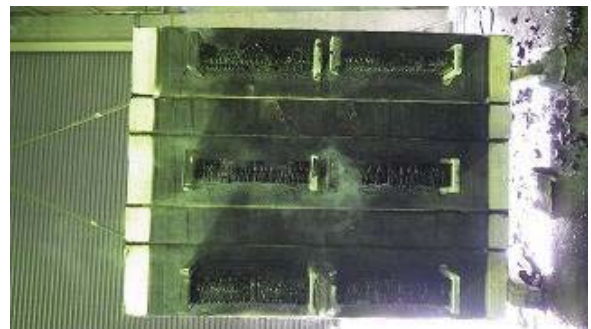


写真 3.1.4-22 加熱終了後 (消火後)

(2) 炉内・試験体各部温度推移

図 3.1.4-1~7 に、T1~6 の加熱温度推移及び各試験体の内部温度推移を示す。

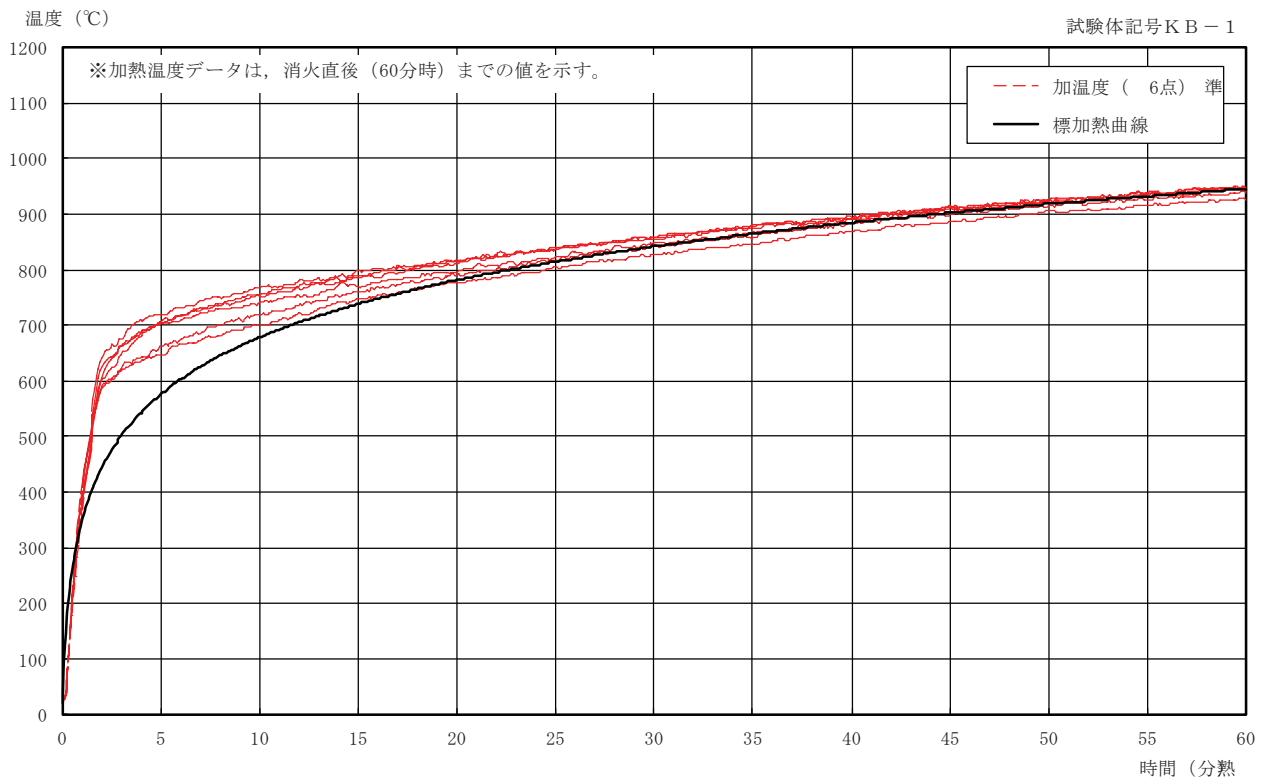


図 3.1.4-1 加熱温度推移

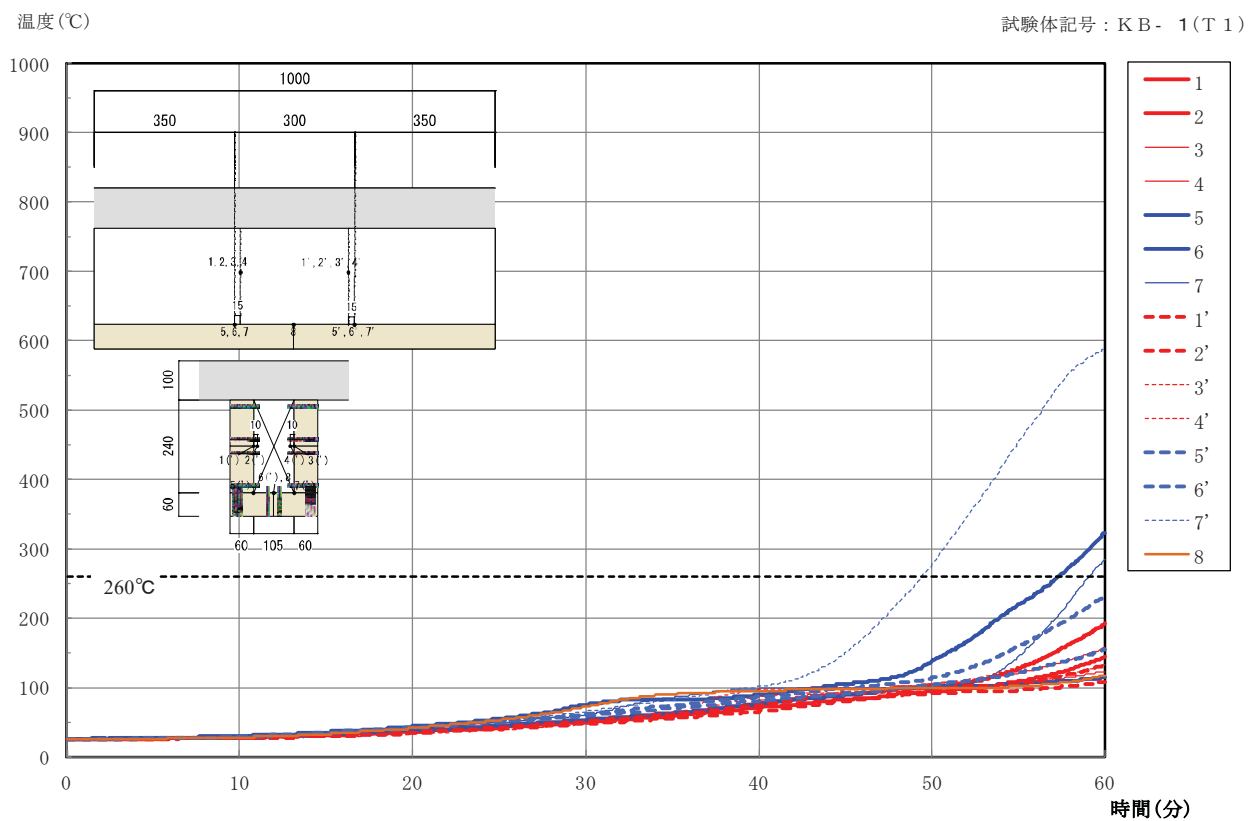


図 3.1.4-2 内部温度推移 (T1)

温度(°C)

試験体記号: KB-1(T2)

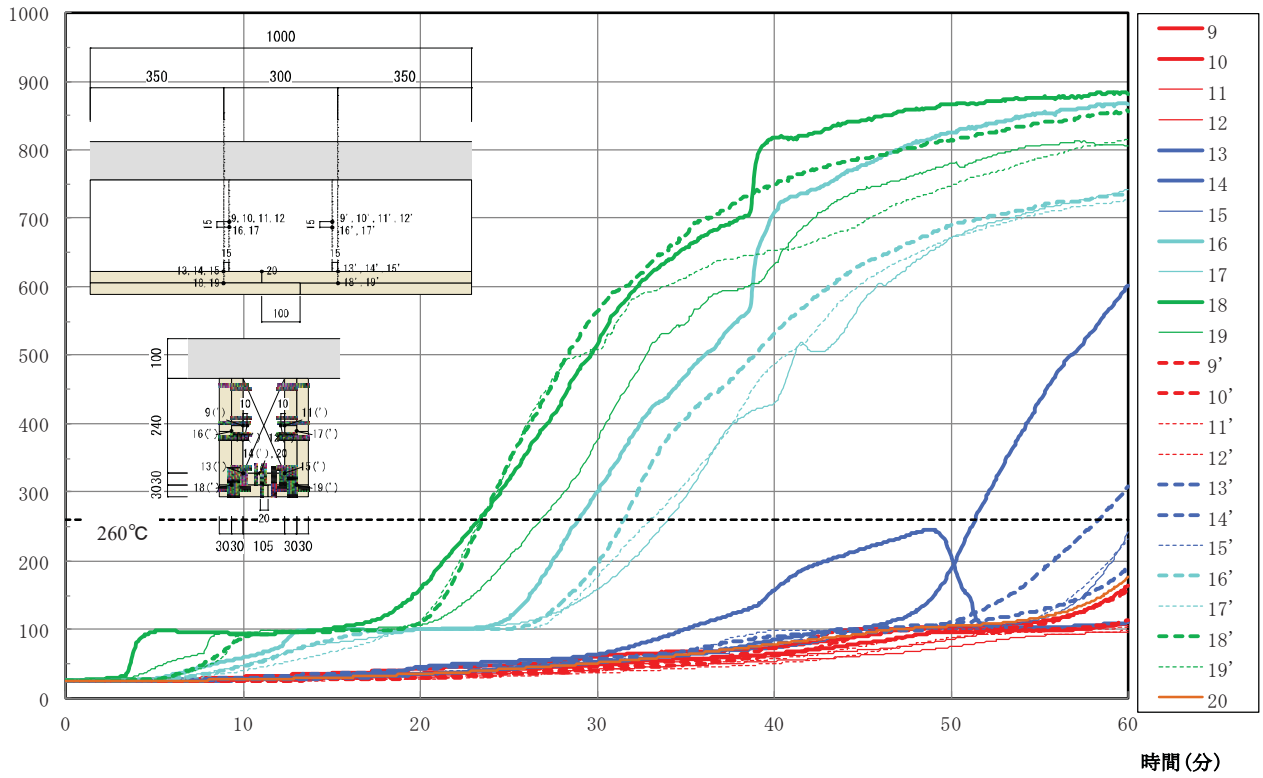


図 3.1.4-3 内部温度推移 (T2)

温度(°C)

試験体記号: KB-1(T3)

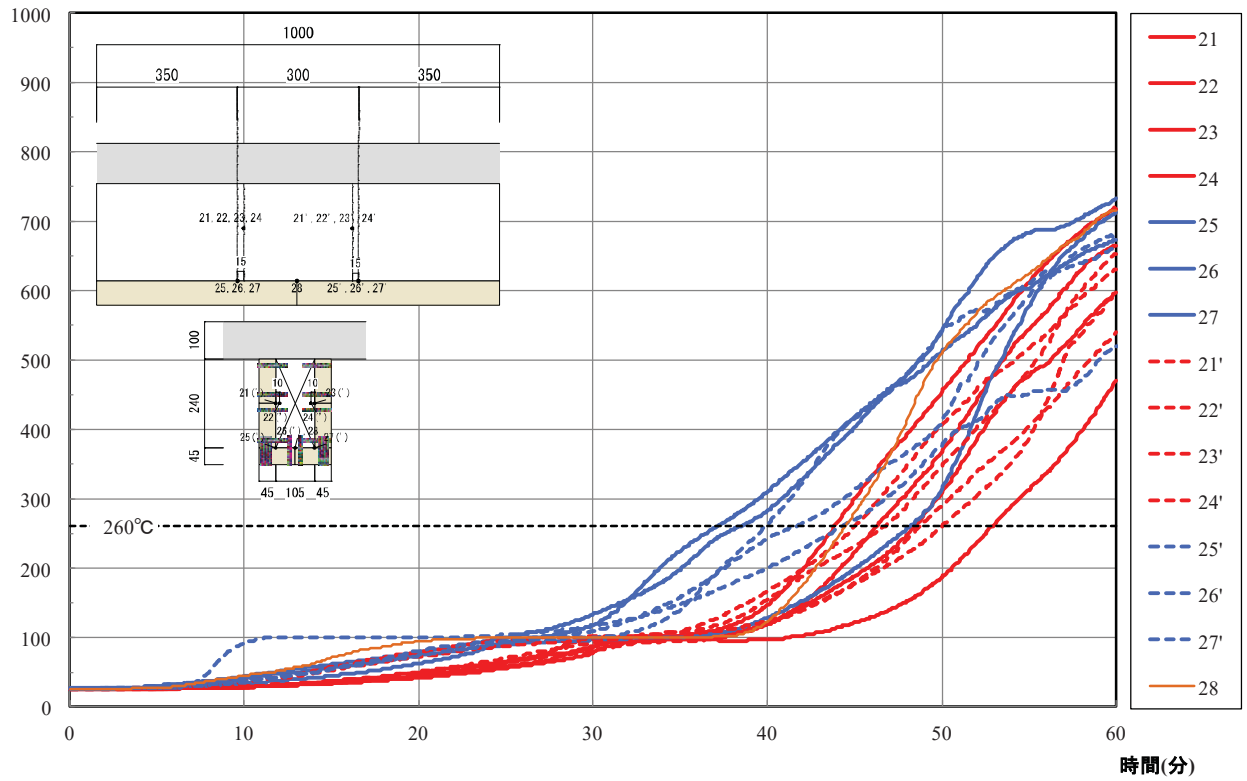


図 3.1.4-4 内部温度推移 (T3)

温度(°C)

試験体記号: K B- 1(T 4)

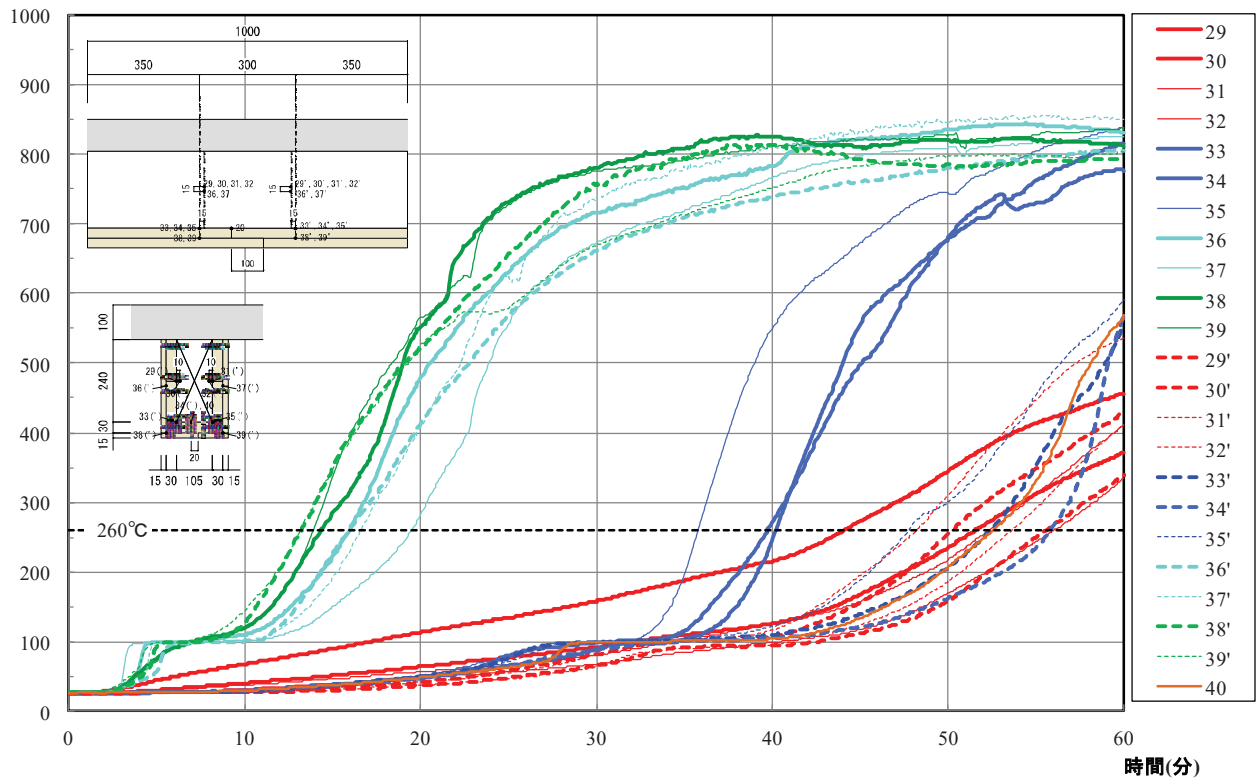


図 3.1.4-5 内部温度推移 (T4)

温度(°C)

試験体記号: K B- 1(T 5)

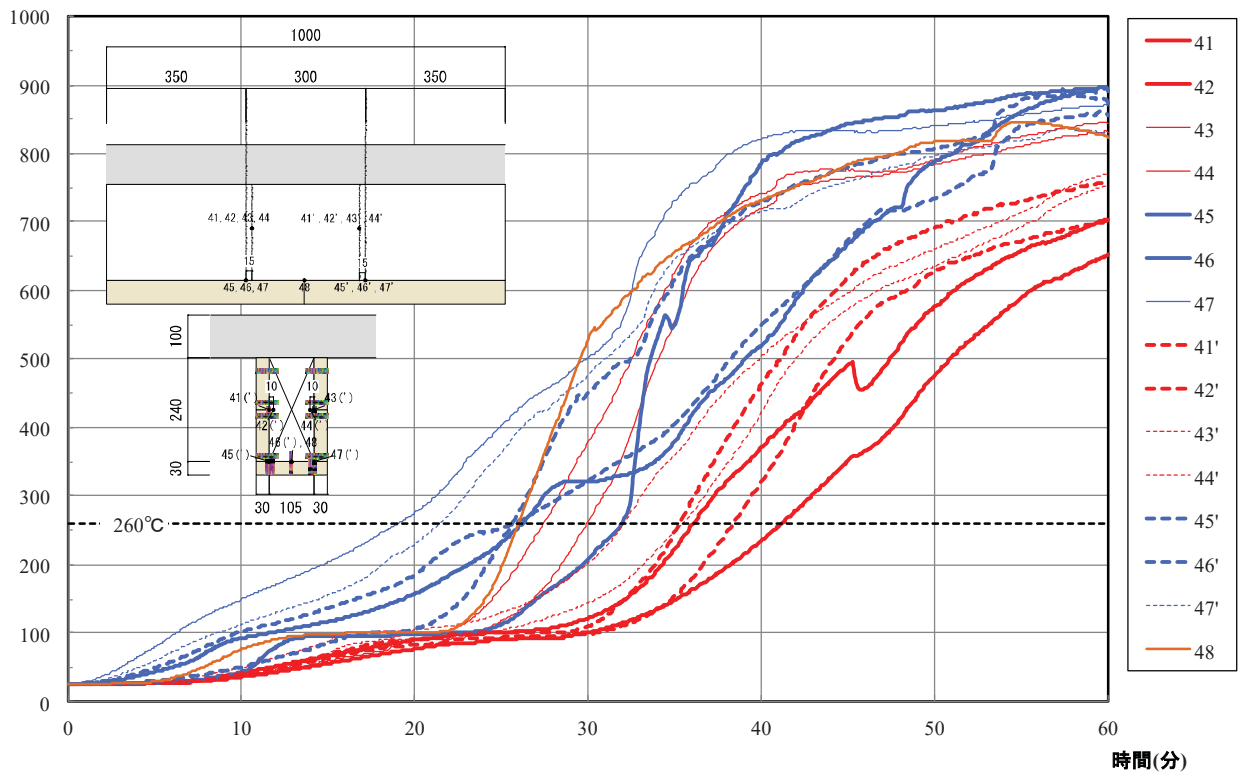


図 3.1.4-6 内部温度推移 (T5)

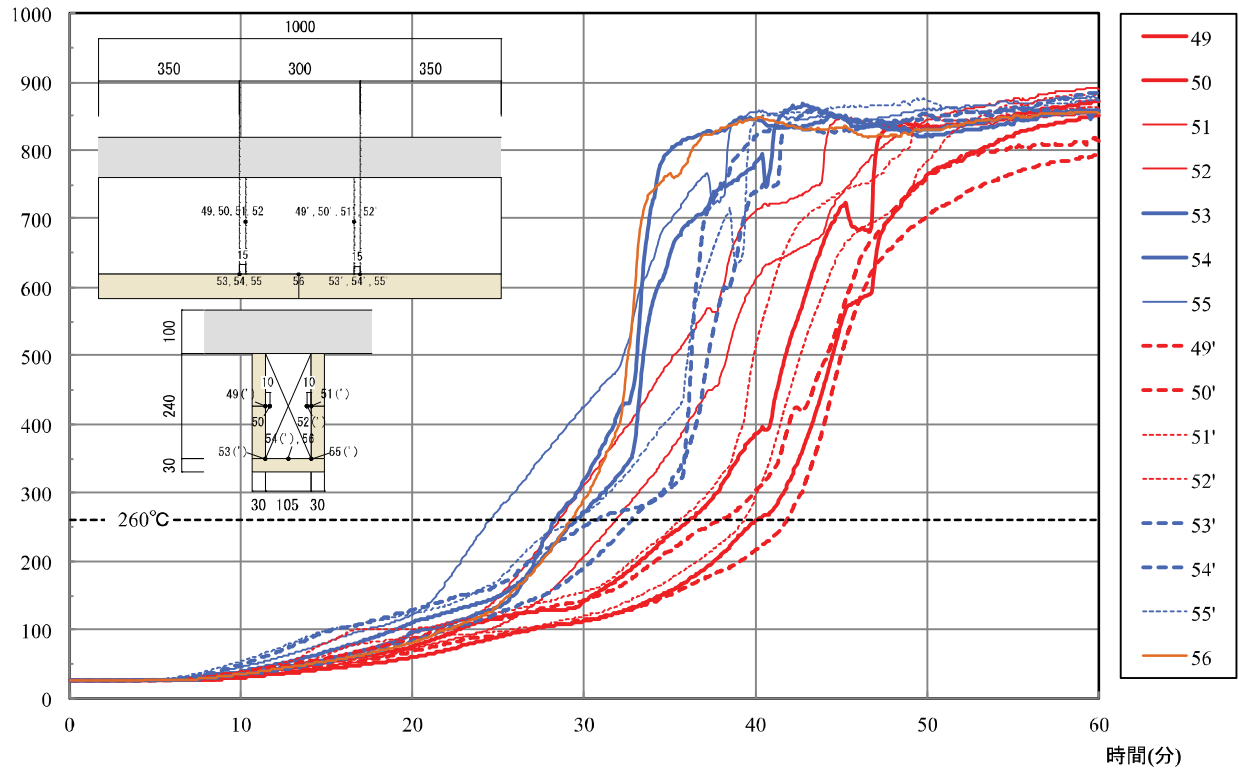


図 3. 1. 4-7 内部温度推移 (T6)

※ 試験体 T2 の熱電対番号 14 番および試験体 T4 の熱電対番号 29 番は、熱電対設置図以外の温度測定しているまたはビスに当たっているなど、熱電対配置図の位置の試験体の温度を測定できていない可能性がある。

(3) 炭化性状

図 3.1.4-8 に T1~6 の炭化図を、写真 3.1.4-23~28 に炭化サンプルを示す。炭化サンプルの切り出し位置は各試験体の中央とし、図の () 内は被覆材の厚さ(mm)・構成を示す。

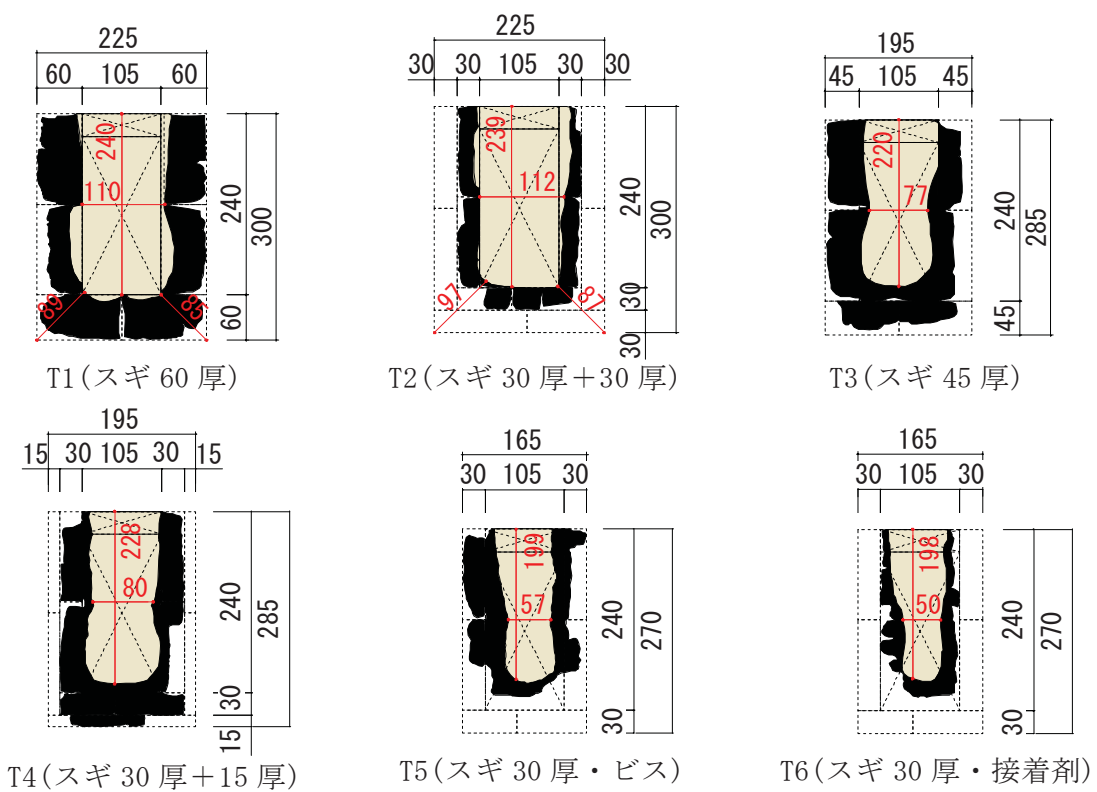


図 3.1.4-8 炭化図(KB-1)

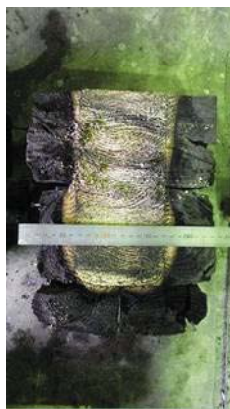


写真 3.1.4-23 T1



写真 3.1.4-24 T2



写真 3.1.4-25 T3



写真 3.1.4-26 T4



写真 3.1.4-27 T5



写真 3.1.4-28 T6

(4) 考察

本実験における各部内部温度の 260°C到達時間及び炭化速度の一覧を次頁の表 3.1.4-2 に示し、防火被覆の効果に影響を与えられとされる項目について考察する。

1) 防火被覆の厚さ

T1 (スギ 60mm 厚)、T3 (スギ 45mm 厚)、T5 (スギ 30mm 厚) では、非損傷性への影響が大きい、はり下側の集成材表面における集成材表面の 260°C到達時間は、T5 (30mm 厚) で 26 分、T3 (45mm 厚) で 42 分、T1 (60mm 厚) で 60 分以上 (60 分時点で 114~155°C程度にとどまる) となった。またはり側面の集成材表面及び隅角部のいずれにおいても T5、T3、T1 の順に早い結果となり、炭化図 (図 3.1.4-8) においても、T3 では 15mm、T5 では 35mm 程度集成材に燃え込みがみられるのに対し、T1 ではほとんど燃焼はみられなかった。これにより木材被覆では被覆材の厚みが厚いほど、荷重支持部材への炭化抑制の効果があると考えられる。

2) 防火被覆の重ね張りの違い

T1 (スギ 60mm 厚) 及び T2 (スギ 30mm 厚+30mm 厚) では、60 分時に集成材表面温度が 260°Cに到達しなかった。それぞれの 60 分時の集成材表面温度をみると、T1 : 100~150°C (側面)、114~155°C (下側)、T2 : 100~165°C (側面)、110~190°C (下側) と、どちらもほぼ同様の炭化抑制の効果がみられた。実験後の炭化図 (図 3.1.4-8) では、T1 の被覆材はほとんど脱落してないのに対し、T2 は、上張材が全て脱落し、下張材のみ残っていた。また被覆材の目地部においては、どちらも集成材表面近傍まで燃え込んでおり、被覆材の炭化性状に差異はみられなかった。加熱終了時の T2 の集成材下側の温度が T1 よりも比較的高い数値となっているのは、側面よりも下側の方が、被覆材が早期に脱落しやすいためと考えられる。

一方、T3 (スギ 45mm 厚) 及び T4 (スギ 30mm 厚+15mm 厚) で、集成材表面の 260°C到達時間を比較すると、各部で最大 2 分程度 T4 の方が早い結果となった。また実験後の炭化図 (図 3.1.4-8) では、T3 の被覆材はほとんど脱落してないのに対し、T4 の上張材は全て脱落し、下張材のみ残っていた。しかし、集成材はりはどちらも 15mm 程度燃焼しており、同程度の炭化性状であった。

これらの結果により被覆材の構成 (1 枚張りまたは 2 枚張り) の違いによる炭化抑制効果に違いはほぼ見られなかった。これは、被覆材が 2 枚張りの場合に上張材が荷重支持部材に留め付けてあることで、上張材の早期脱落を抑制し被覆材の燃焼性状が 1 枚張りの場合と同程度であったためと考えられる。

3) 防火被覆の留付方法

T5 (スギ 30mm 厚・ビス) 及び T6 (スギ 30mm 厚・接着剤) では、集成材表面の 260°C到達時間が、はり側面の集成材表面ではあまり時間差はないが、はり下側の集成材表面では約 2 分、隅角部で 5 分程度 T6 の方が遅い結果となった。これは、T6 は被覆材を接着剤で貼り付けることで、加熱による被覆材の変形・浮きを抑制するため、荷重支持部材の温度上昇が比較的遅く、また特に隅角部での炭化抑制の効果は高いと考えられる。しかし、実

験後の炭化図（図 3. 1. 4-8）では、T5 の被覆材は部分的に残存しているのに対し、T6 の被覆材は全て脱落しており、集成材の残存断面も T6 の方が幅方向に 7mm 程度小さい結果となった。これにより、被覆材がスギ 30 厚かつ 60 分加熱の場合、被覆材の燃焼する際、ビス留めでは部分的かつ断続的に炭化層が脱落するのに対し、接着剤では、短時間で大部分の炭化層が脱落するため、接着剤の方が、被覆材脱落后に荷重支持部材の燃焼が進んでいると考えられる。両仕様の内部温度推移（図 3. 1. 4-6, 7）を比較しても、T6 の方が、加熱開始 30 分以降の集成材表面の温度上昇が急速である結果となった。

表 3. 1. 4-2 260℃到達時間及び炭化速度一覧（KB-1）

| T1 | 寸法 [mm] | はり側面 | | はり下面 | | 隅角部 | |
|-------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] |
| 被覆材 | 60厚 | 達せず | 達せず | 達せず | 達せず | 49.5 (7') | 1.21 |
| 集成材 | 105×240 | 達せず | 達せず | - | - | - | - |
| T2 | 寸法 [mm] | はり側面 | | はり下面 | | 隅角部 | |
| | | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] |
| 被覆上張材 | 30厚 | 29 (16) | 1.03 | - | - | 23.3 (18) | 1.29 |
| 被覆下張材 | 30厚 | 達せず | 達せず | 達せず | 達せず | 51.3 (13) | 1.17 |
| 集成材 | 105×240 | 達せず | 達せず | - | - | - | - |
| T3 | 寸法 [mm] | はり側面 | | はり下面 | | 隅角部 | |
| | | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] |
| 被覆材 | 45厚 | 43.9 (21) | 1.03 | 41.7 (26) | 1.08 | 37.1 (25) | 1.21 |
| 集成材 | 105×240 | 46.3 (22) | 4.17 | - | - | - | - |
| T4 | 寸法 [mm] | はり側面 | | はり下面 | | 隅角部 | |
| | | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] |
| 被覆上張材 | 15厚 | 16.6 (37') | 0.90 | - | - | 13.2 (38',39') | 1.14 |
| 被覆下張材 | 30厚 | 44 (29) | 1.02 | 39.7 (40) | 1.13 | 35.8 (35) | 1.26 |
| 集成材 | 105×240 | 51.5 (30) | 1.33 | - | - | - | - |
| T5 | 寸法 [mm] | はり側面 | | はり下面 | | 隅角部 | |
| | | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] |
| 被覆材 | 30厚 | 27.5 (43) | 1.09 | 26 (48) | 1.15 | 19 (47) | 1.76 |
| 集成材 | 105×240 | 30 (44) | 4.00 | - | - | - | - |
| T6 | 寸法 [mm] | はり側面 | | はり下面 | | 隅角部 | |
| | | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] | 260℃到達時間 [分] | 炭化速度 [mm/分] |
| 被覆材 | 30厚 | 28.5 (51) | 1.05 | 28.3 (54) | 1.06 | 24.5 (55) | 1.22 |
| 集成材 | 105×240 | 31.8 (52) | 3.03 | - | - | - | - |

* ()内は熱電対番号を示す

**「達せず」は加熱終了時に260℃未満であることを示す

***「-」は温度計測なしであることを示す

※炭化速度は、被覆材、集成材それぞれにおいて、下記の値を260℃到達時間で除した値とする

被覆材：試験体表面から内部温度の計測点までの距離

集成材：集成材表面から内部温度の計測点までの距離

また2章2節での小型はりKF-3⑥では、留付間隔を455mmとし木材被覆45mm厚一枚張りとし加熱実験を行った。その際、集成材表面の260℃到達時間は、はり側面の集成材表面で56分55秒、はり下側の集成材表面で54分25秒、隅角部で43分25秒となり、T3(木材被覆45mm厚一枚張り/留付間隔200mm)に比べ、5～10分程度遅く、留付間隔の差による影響はみられなかった。

4) 木材被覆の炭化速度

試験体の各内部温度が260℃に到達した時間と熱電対の試験体表面からの深さを図3.1.4-9に示す。ただし、図中には被覆材一般部と下部との取合部の燃え込みが影響する試験体隅角部のデータは除いた。

図より6仕様の試験体における木材被覆の炭化速度はほぼ0.8～1.2mm/分の間に分布した。既往研究における木材(スギ)の炭化速度の慣用値は0.6～0.8mm/分であるが、本実験の結果はこの値より比較的高い。これは、熱電対が木板の目地部に設置されていることや二枚張りの場合において加熱中に上張りが脱落した影響などが考えられる。

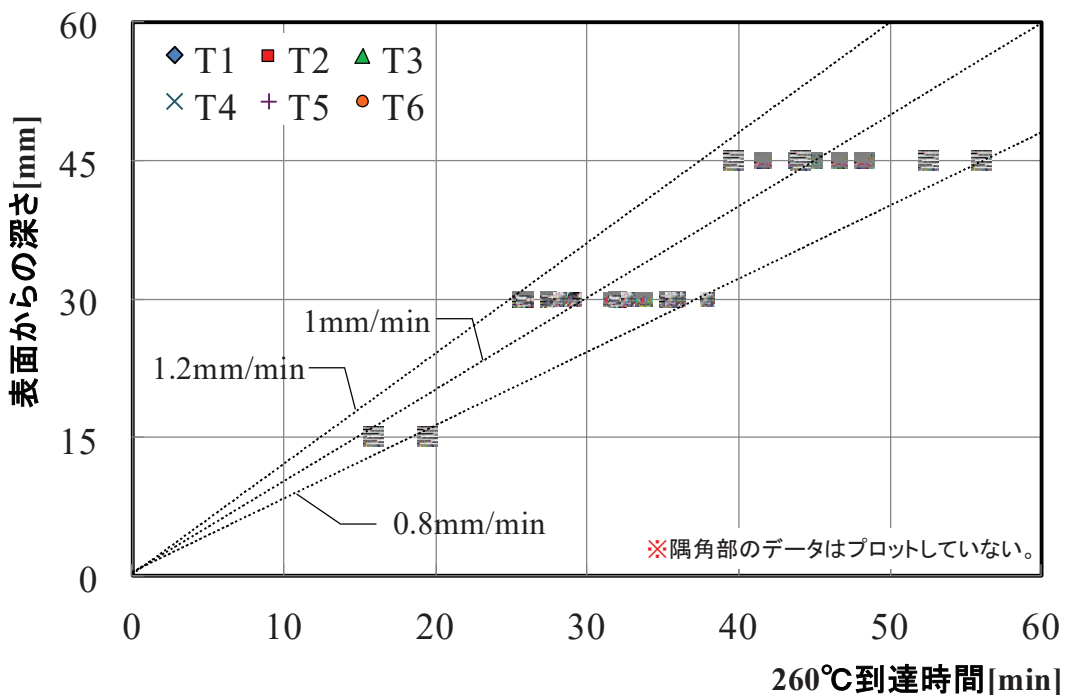


図 3.1.4-9 260℃到達時間と加熱側表面からの深さ

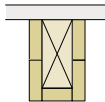
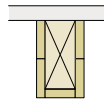
以上、1)～4)の結果・考察より、3章2節及び3章3節のはり及び柱の荷重加熱実験は、防火上、不利側の仕様となる、構造用集成材の最小断面(はり：105×240、柱：105角、150角)、木材被覆厚さ30mm(45分目標)、45mm(60分目標)一枚張り(スギ)、被覆材留め付け間隔500mmを基本に試験体を設計した。

3. 2 防火被覆の炭化抑制効果を考慮したはりの載荷加熱実験 (B-1~2)

3. 2. 1 実験概要

本実験の概要を表 3. 2. 1-1 に示す。本実験は、2 章 2 節の小型はり及び 3 章 1 節の比較実験の結果をもとに、小中断面のはりにおける、45 分及び 1 時間準耐火性能を有する木材被覆はりの 2 仕様 (以下 B-1 及び B-2) について実大の載荷加熱実験により非損傷性を確認する。また小型の比較実験では、試験体寸法が小さいため、加熱実験の結果が安全側に評価されることがある。そこで本実験では、実大はり (異等級構成構造用集成材 E65-F225、スギ) の試験体を用いることで、留付間隔の違いがはりの準耐火性能に与える影響についても確認する。

表 3. 2. 1-1 実験概要一覧 (B-1, 2)

| 部材種類 | はり | | |
|-------------------|--|---|-----------------------|
| 試験体No. | B-1 | B-2 | |
| 仕様 (mm) |  スギ集成材105×240 (異等級構成E65-F225) 被覆材:木材(スギ)45厚 (留め間隔500) |  スギ集成材105×240 (異等級構成E65-F225) 被覆材:木材(スギ)30厚 (留め間隔500) | |
| 含水率* 密度* | 支持部材:10.4%、被覆材:10.9% 支持部材:0.37 g/cm ³ 、被覆材:0.32 g/cm ³ | 支持部材:10.4%、被覆材:10.0% 支持部材:0.37 g/cm ³ 、被覆材:0.32 g/cm ³ | |
| 載荷荷重 (自重考慮) | 梁の短期許容荷重 16.9kN 3等分2線 (載荷時のたわみ量:21mm) | 梁の短期許容荷重 17.3kN 3等分2線 (載荷時のたわみ量:24mm) | |
| 加熱時間 | 64分50秒 | 54分 | |
| 結果 | 非損傷性 | 64分30秒 | 53分30秒 |
| | 遮熱性 | — | — |
| | 遮炎性 | — | — |
| | 最大たわみ量** | 59.6 mm (規定値:271 mm) | 115.6 mm (規定値:271 mm) |
| | 最大たわみ速度** | 6.6mm/分 | 16.2mm/分 |
| 防耐火時間 (目標性能時間) | 64分30秒 (60分) | 53分30秒 (45分) | |
| 実験主旨 | イ・ロ | | |
| 実験場所 | 建材試験センター | | |
| 実験日程 | 10月22日 | 12月21日 | |

*含水率及び密度は、3個のサンプルの平均値を示す

**最大たわみ量及び最大たわみ速度は、試験体破壊時での数値を示す

なお、たわみ速度の既定値は、たわみ量L/30=5,100/30=170mmを越えるまで適用されないため、本実験では適用外とする

実験主旨

- (イ)防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
- (ロ)防火被覆の脱落抑制に関する実験
- (ハ)複合部材、取合部の防火上有効な措置に関する実験

3. 2. 2 試験体概要

試験体の仕様一覧を図 3. 2. 2-1 に、試験体図を図 3. 2. 2-2～5 に示す。集成材はりの寸法は、幅 W105×成 H240×支持点間距離 L5, 100mm とし、1 時間準耐火性能(B-1) 及び 45 分準耐火性能(B-2) を目標とする試験体を 1 体ずつ設計した。

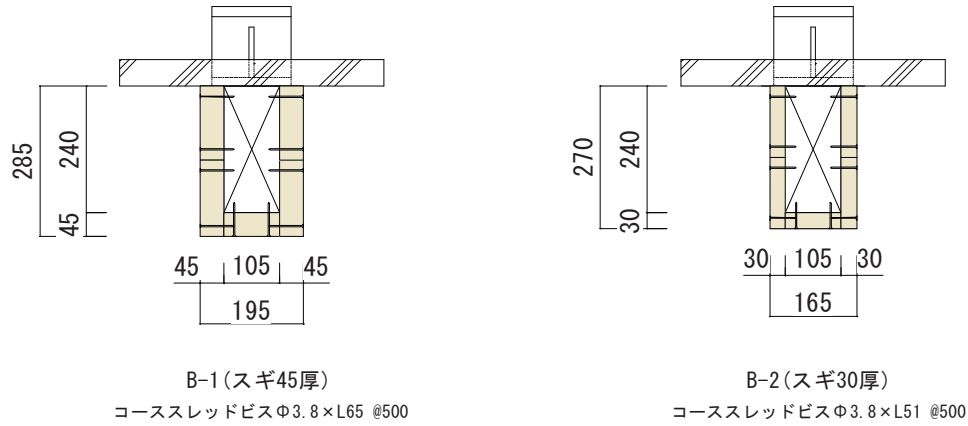


図 3. 2. 2-1 試験体仕様 (B-1, 2)

(1) B-1 (目標性能：1 時間準耐火性能)

W105mm×H240mm の集成材はりに 45mm 厚のスギ板を張った。スギ板は、コーススレッドビス $\phi 3.8\text{mm} \times L65\text{mm}$ (長辺方向：留付間隔 500mm、短辺方向：端部 2 箇所 (500mm 以下)) にて留め付けた。

(2) B-2 (目標性能：45 分準耐火性能)

W105mm×H240mm の集成材はりに 30mm 厚のスギ板を張った。スギ板は、コーススレッドビス $\phi 3.8\text{mm} \times L51\text{mm}$ (長辺方向：留付間隔 500mm、短辺方向：端部 2 箇所 (500mm 以下)) にて留め付けた。

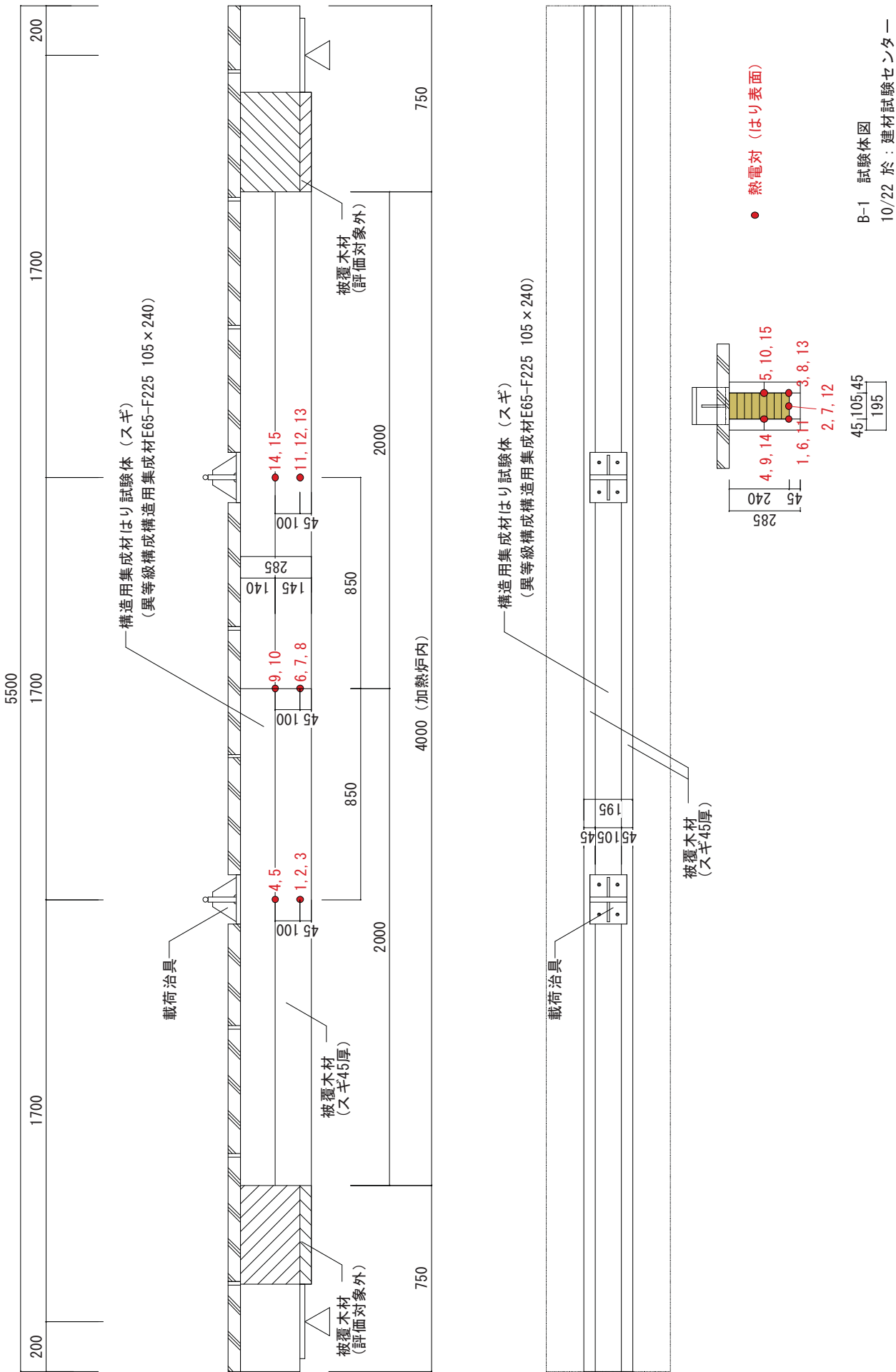
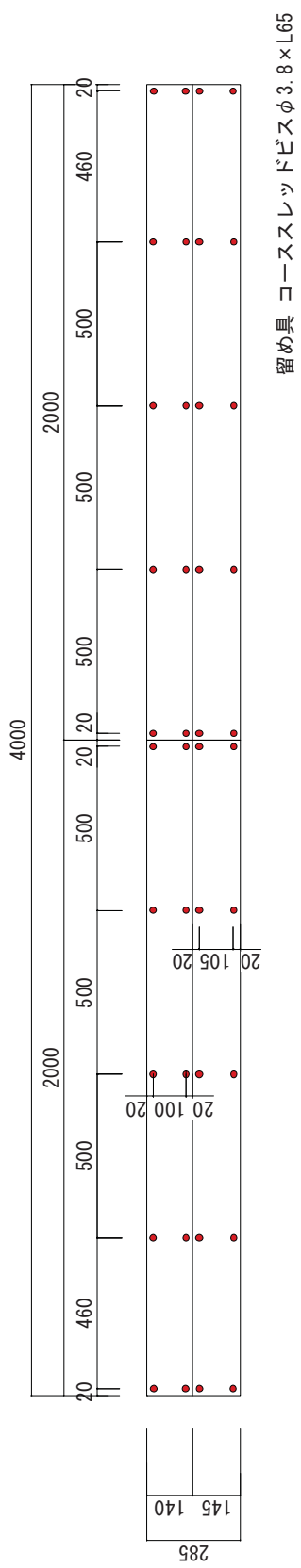


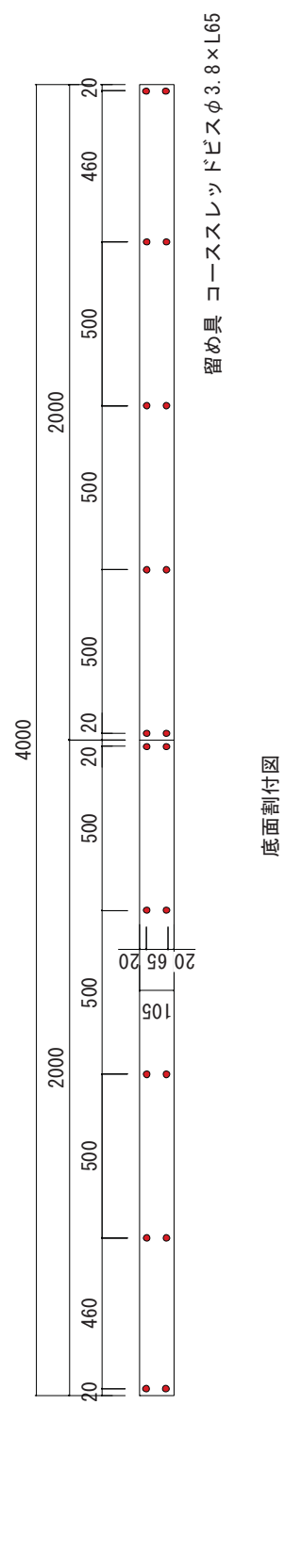
図 3.2.2-2 試験体図・熱電対配置図(B-1)

| | | |
|--------------------------|--------------------|----------------------|
| Title 木材被覆梁載荷加熱実験 B-1 | 試験体図・熱電対配置図 | |
| | Scale 1/15 (A3) | Date 2015. 10. 22 |



側面割付図

留め具 コーススレッドビスφ3.8×L65



底面割付図

留め具 コーススレッドビスφ3.8×L65

図 3.2.2-3 被覆材割付図(B-1)

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| Title 木材被覆梁載荷加熱実験 B-1 被覆材割付図 | Scale 1/15 (A3) |
| | Date 2015. 10. 22 |

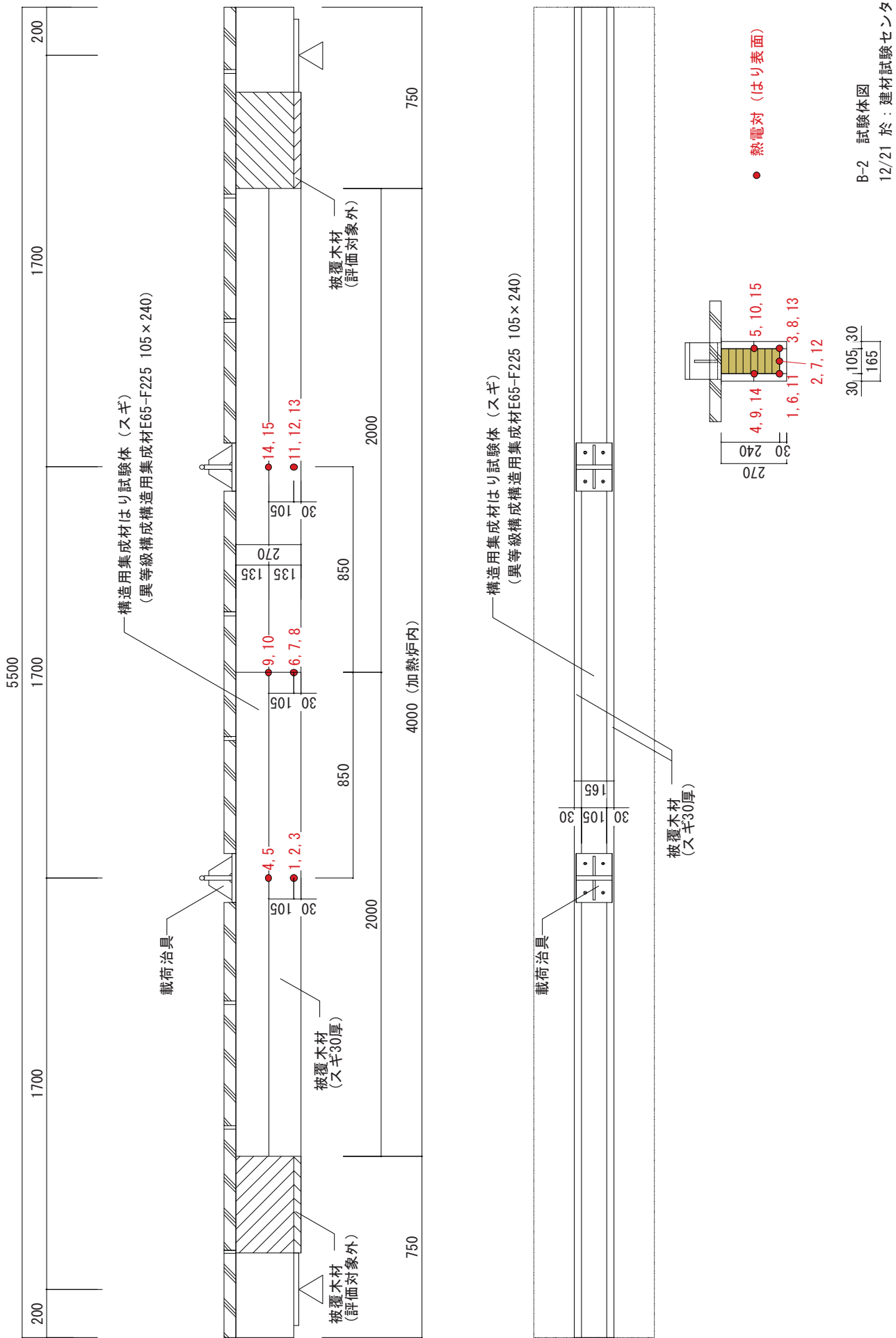


図 3.2.2-4 試験体図・熱電対配置図(B-2)

| | | |
|-------|-----------------|--|
| Title | 木材被覆梁荷重加熱実験 B-2 | |
| | 試験体図・熱電対配置図 | |
| Scale | 1/15 (A3) | |
| Date | 2015. 12. 21 | |

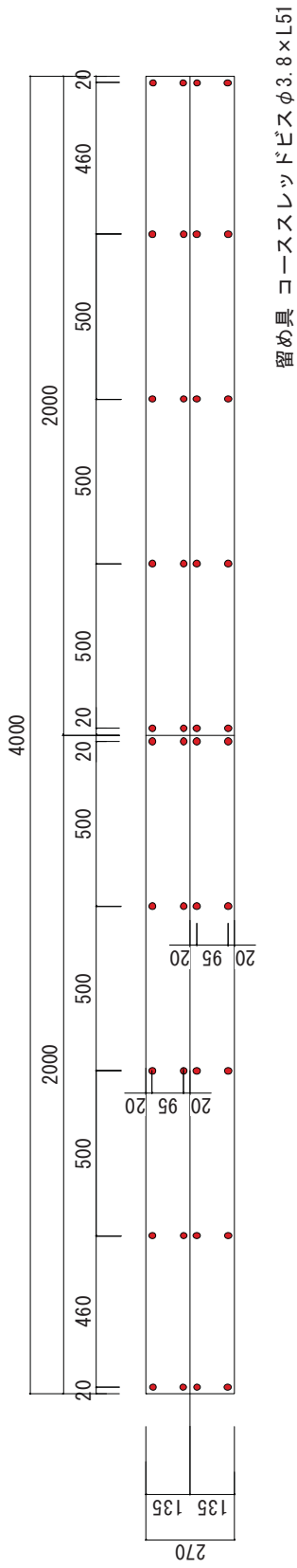
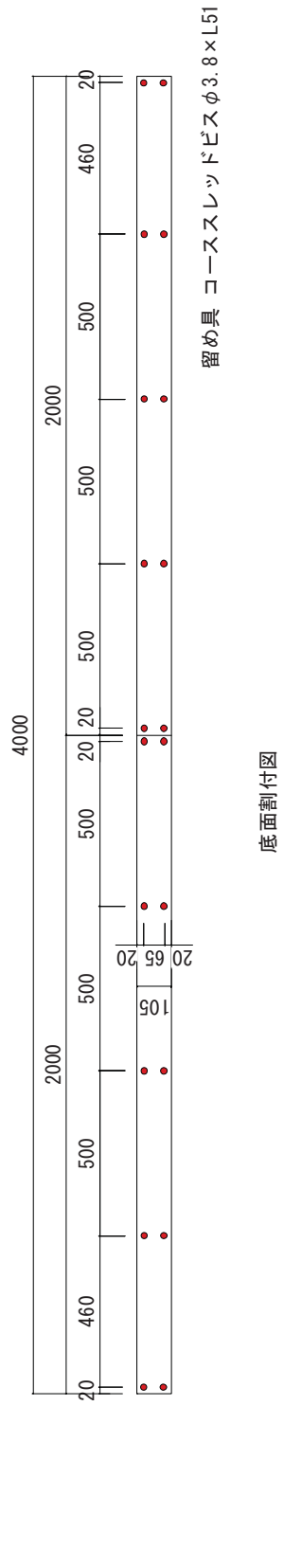


図 3.2.2-5 被覆材割付図(B-2)



| | | |
|--------------------------|-------|--------------|
| Title 木材被覆梁載荷加熱実験 B-2 | Scale | 1/15 (A3) |
| | Date | 2015. 12. 21 |

3. 2. 3 実験方法

本実験は、下記日時及び場所で実験を実施し、(1)～(4)に則して実験を実施した。

■実験日時 (B-1)：2015年10月22日(木)

■実験日時 (B-2)：2015年12月21日(月)

■実験場所：一般財団法人 建材試験センター・中央試験所 水平炉

(1) 加熱方法

IS0834に規定する標準加熱曲線に準拠し45分または60分間を目標に加熱を行った。ただし、安全上に問題がある場合は試験を中止する事とした。水平炉の試験体配置図を図3.2.3-1～4に示す。

(2) 載荷方法

本実験は、油圧ジャッキを用いて3等分2線により鉛直荷重を加えた。荷重は、表3.2.3-2, 3に示す荷重計算により、試験体の残存する構造支持断面に短期許容応力度が発生する荷重(自重を考慮しB-1は16.9kN、B-2は17.3kN)を載荷した。なお、B-1, 2ともに試験体の強度等級の規格は対称異等級構成E65-F225であるが、試験体のヤング係数を実測結果よりE75-F240相当の基準強度(24.0N/mm²)を用いて、載荷荷重を算定した。

表 3. 2. 3-1 試験体のヤング係数実測値(B-1, 2)

| 部材種類 | 試験体No. | 集材種類 | 寸法 [mm] | 体積 [m ³] | 質量 [kg] | 密度 [kg/m ³] | 支持間距離 [mm] | 周波数 [Hz] (平均値) | 縦振動ヤング係数 [kN/mm ²] | 10%補正 [kN/mm ²] |
|------|--------|---------------|--------------|-------------------------|------------|----------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 梁 | B-1 | 異等級構成 (スギ) | 105×240×5800 | 0.146 | 59.1 | 404.4 | 3000 | 400.3 | 8.72 | 7.85 |
| | B-2 | | 105×240×5800 | 0.146 | 60.1 | 411.2 | | 402.0 | 8.94 | 8.05 |

(3) 測定項目

①試験体内部温度

K熱電対を試験体の各測定位置に取り付け、温度を30秒間隔で測定した。

②炉内温度

シー型K熱電対を試験体表面から100mm離れた位置に10点配置し、試験体の耐火炉内温度を30秒間隔で測定した。

③たわみ量

試験体表面各部に変位計を設置し、垂直方向の変位を30秒間隔で測定した。

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した。

④炭化速度

試験終了後、試験体内部温度測定各計測点について、測定深さ(mm)(試験体表面からの測定点までの距離)を(mm)、260℃到達時間(分)で除した値を炭化速度(mm/分)として算定した。

$$\text{炭化速度 (mm/分)} = \text{測定深さ (mm)} \div \text{260℃到達時間 (分)}$$

⑤含水率

試験体に使用した木材よりサンプルを採取し、試験体と同状況下で養生した後、乾燥炉(105℃)に入れ乾燥して試験体の含水率を算定した。木材の含水率の計算式を下記に示す。

$$\text{含水率 (\%)} = \{(\text{乾燥前の重量} - \text{絶乾後の重量}) / \text{絶乾後の重量}\} \times 100$$

⑥その他

試験体加熱面の目視観察、写真撮影等を行った。

(4) 防耐火性能の評価

実験の評価方法は、性能評価機関の「防耐火性能試験・性能評価業務方法書（準耐火性能試験方法）」に則し、非損傷性をはりのたわみ量より判断する。ただし、目標性能時間を経過した段階で、防耐火性能の余力の有無を観察するため、加熱時間は安全上の問題がない限り継続し、実験経過により加熱停止の判断をした。

①非損傷性

最大たわみ量及び最大たわみ速度が、次の値以下であること。ただし、最大たわみ速度は、たわみ量が $L/30$ を超えるまで適用しない。

$$\text{最大たわみ量 [mm]} : L^2/400d$$

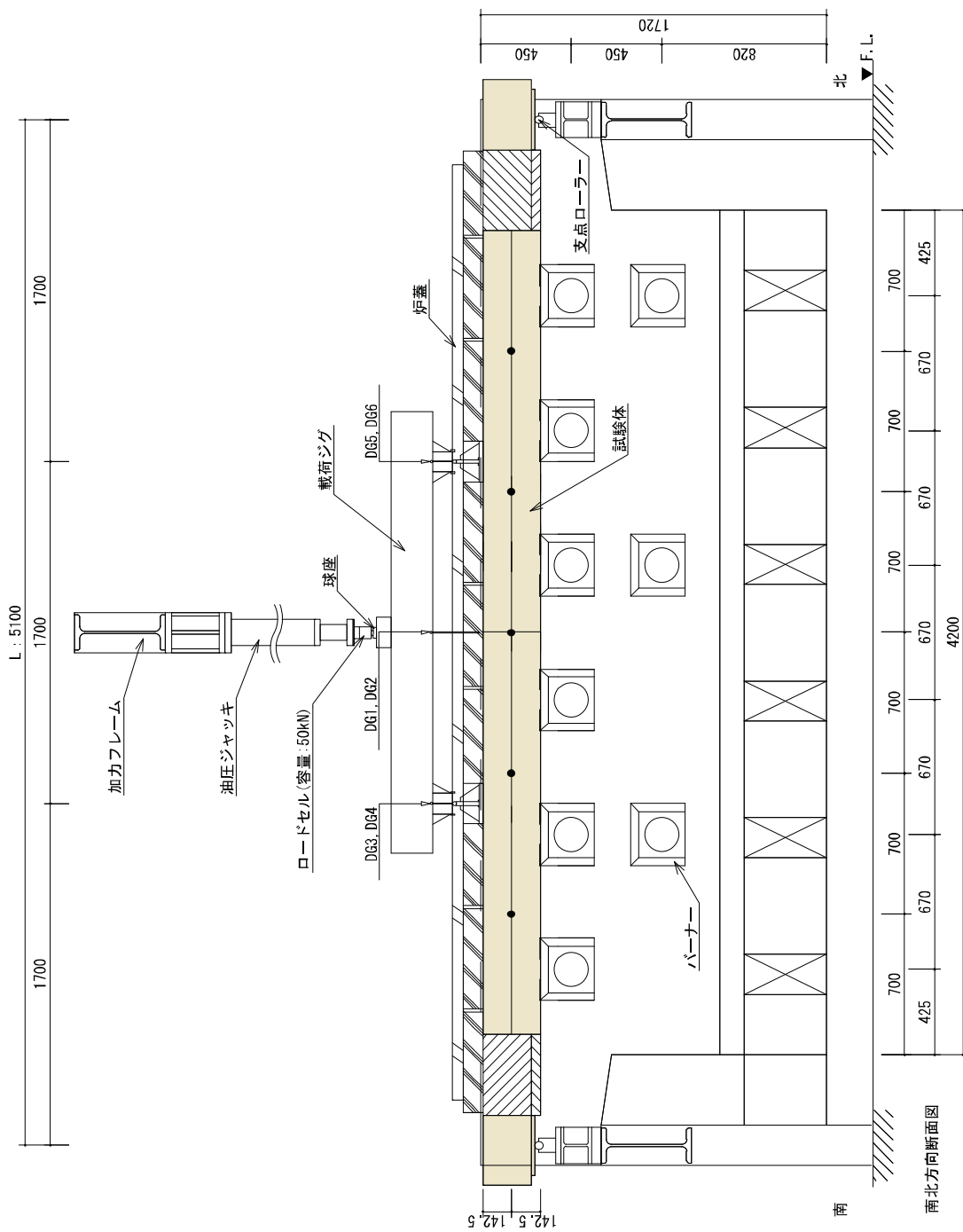
$$\text{最大たわみ速度 [mm/分]} : L^2/9000d$$

L : 試験体の支点間距離 [mm] , d : 試験体の構造断面の圧縮縁から引張り縁までの距離 [mm]

本実験では、 $L=5,100\text{mm}$ 、 $d=240\text{mm}$ であるため、最大たわみ量及び最大たわみ速度は、下記の数値となる。

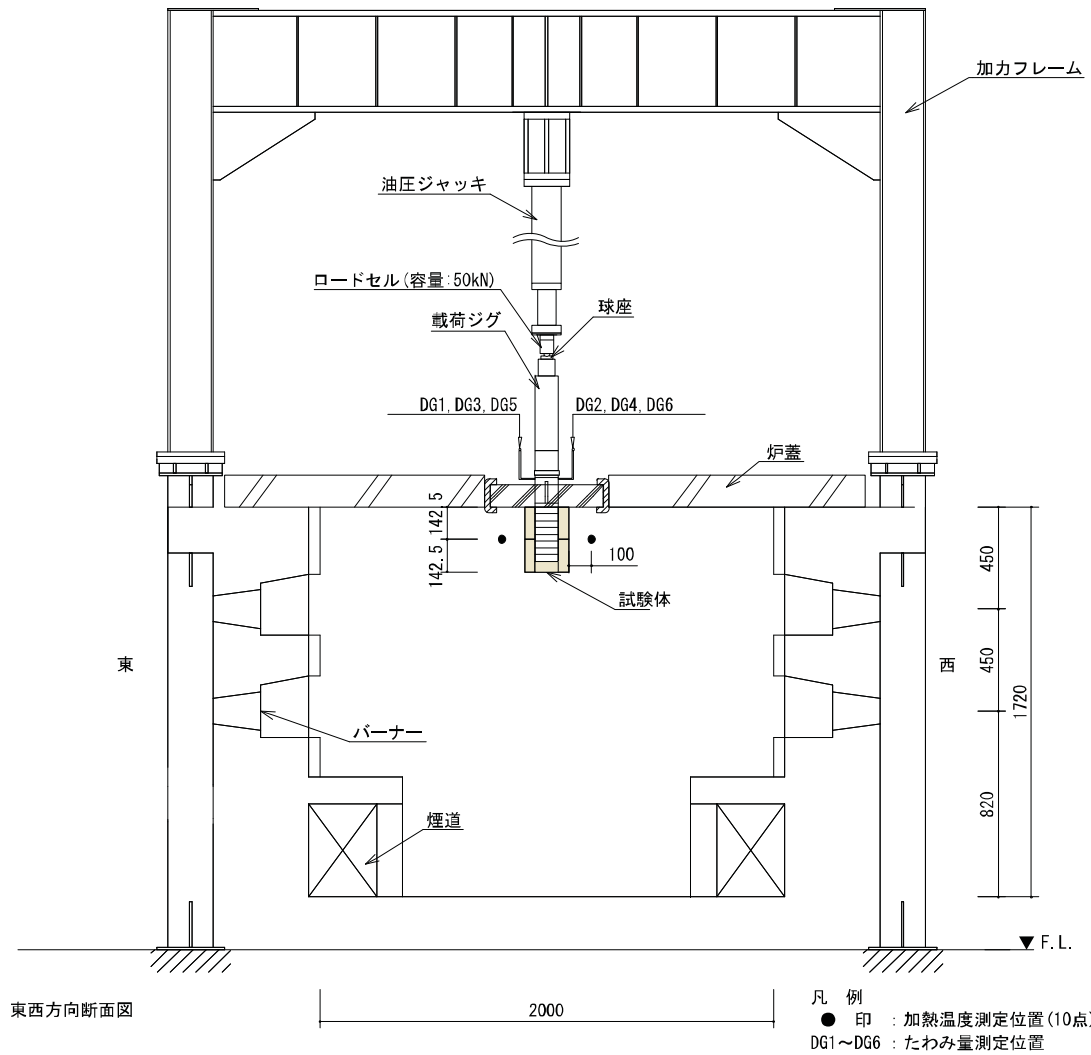
$$\text{最大たわみ量} : (5,100)^2 / (400 \times 240) = 270.9 \quad [\text{mm}]$$

$$\text{最大たわみ速度} : (5,100)^2 / (9000 \times 240) = 12.04 \quad [\text{mm/分}]$$



| | | | |
|-----------------|--|--------------|--|
| Title | | Scale | |
| 木材被覆炭荷加熱実験 B-1 | | 1/15 (A3) | |
| 試験体配置図 (南北方向断面) | | Date | |
| | | 2015. 10. 22 | |

図 3. 2. 3-1 炉内配置図 (南北方向断面) (B-1)



| | | | |
|--------------------------------|--|-------|------------|
| Title | | Scale | 1/15 (A3) |
| 木材被覆梁载荷加熱実験 B-1 試験体配置図(東西方向断面) | | Date | 2015.10.22 |

図 3. 2. 3-2 炉内配置図 (東西方向断面) (B-1)

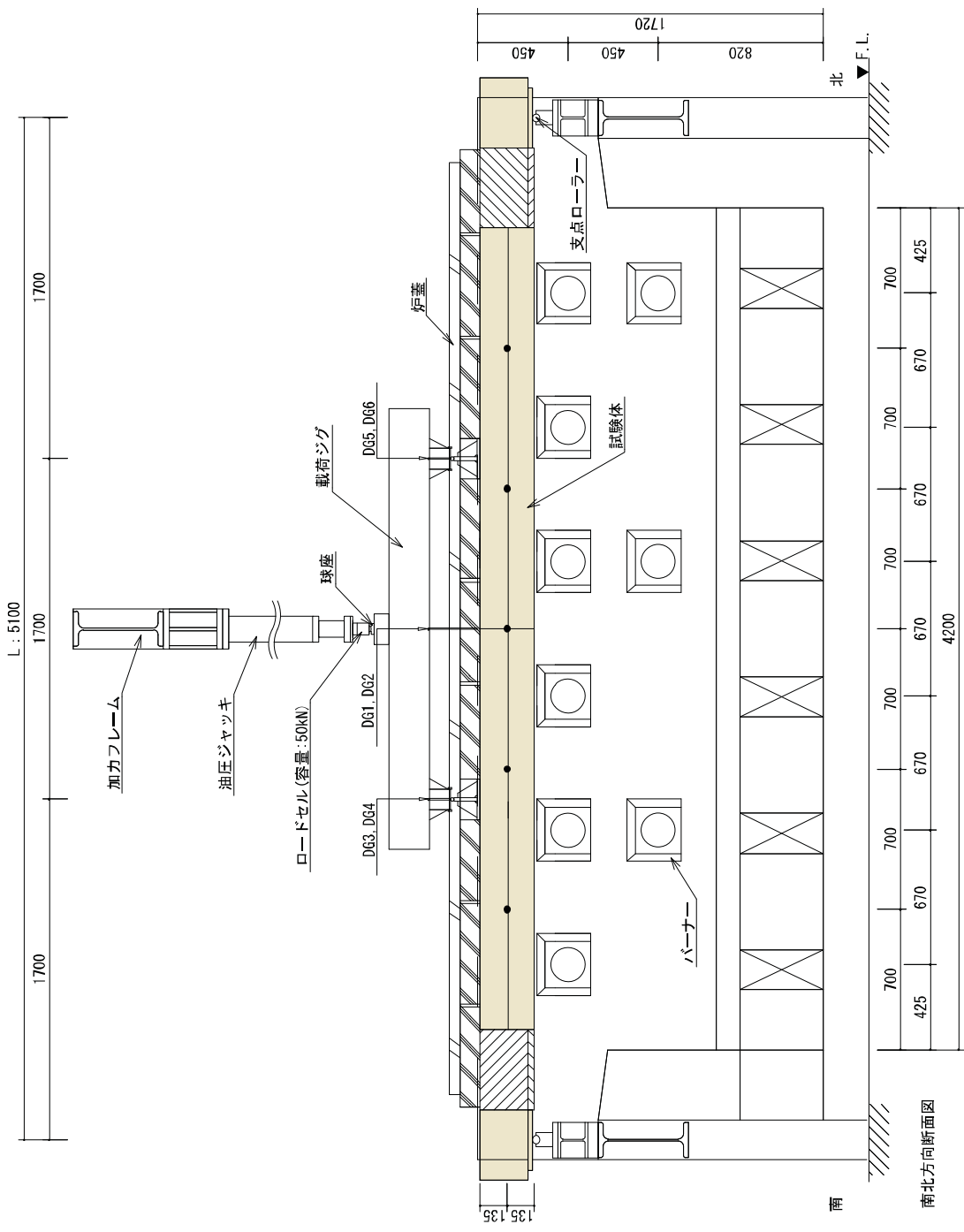
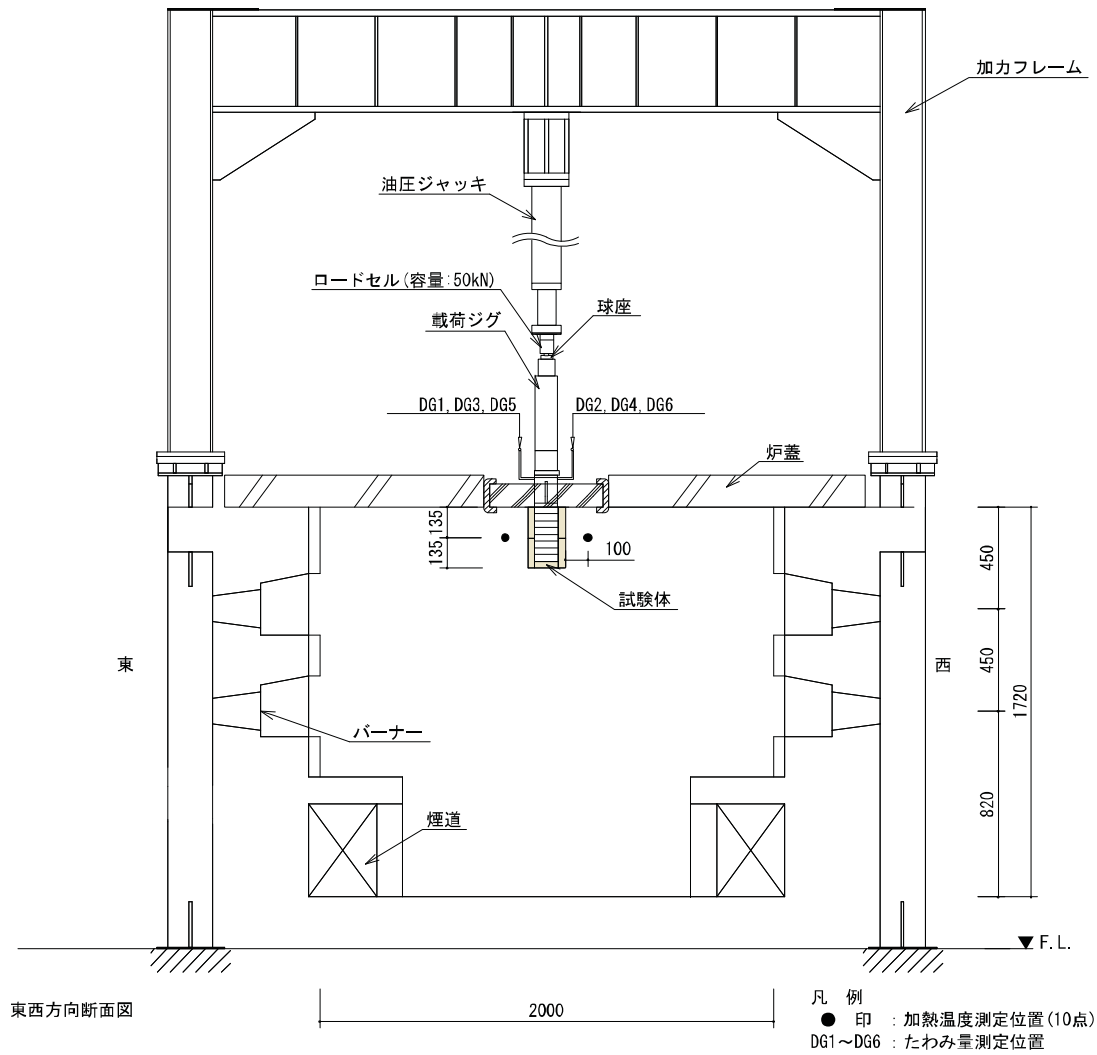


図 3. 2. 3-3 炉内配置図 (南北方向断面) (B-2)

| | | | |
|-----------------|--|-------|------------|
| Title | | Scale | 1/15 (A3) |
| 木材被覆梁載荷加熱実験 B-2 | | Date | 2015.12.21 |
| 試験体配置図 (南北方向断面) | | | |



| | | | |
|---|-------|------------|--|
| Title 木材被覆梁載荷加熱実験 B-2 試験体配置図(東西方向断面) | Scale | 1/15 (A3) | |
| | Date | 2015.12.21 | |

図 3. 2. 3-4 炉内配置図 (東西方向断面) (B-2)

表 3.2.3-2 試験荷重の計算 (試験体記号 B-1)

1) はりの材質及び寸法

- ・荷重支持部材の種類：対称異等級構成構造用集成材（スギ）
- ・強度等級：E 6 5－F 2 2 5（基準強度 F：2 2. 5 (N/mm²)）
- ・荷重支持部材の寸法：1 0 5×2 4 0 (mm)
- ・低減係数：1. 0 2^{※1}
- ・曲げ基準強度 F_b：2 4. 0×1. 0 2≒2 4. 5 (N/mm²)^{※2}
- ・断面係数 Z：1 0 0 8×1 0³ (mm³)
- ・支点間距離 L：5. 1 (m)

[備考]

※1：集成材の日本農林規格（平成19年農林水産省告示第1152号第5条表三）による。

※2：ヤング係数（実測値）より，E 7 5－F 2 4 0相当の基準強度（2 4. 0N/mm²）とする。

2) 短期許容曲げモーメント

試験体の短期許容曲げモーメントMは，以下のように算定される。

$$M = \frac{2 F_b Z}{3} = \frac{2 \times 24.5}{3} \times 1008 \times 10^3 (\text{Nmm})$$

$$\approx 16.5 (\text{kNm})$$

3) 試験荷重

単純支持3等分2線荷重により载荷を行う。

自重Wとの組み合わせにより，支点間中央に長期許容曲げモーメントMが生じるよう，試験荷重Pを以下のように定める。ただし，試験体の実測による長さあたりの自重Wは，0.65kN/mであった。

$$P = \frac{6M}{L} - \frac{6WL}{8}$$

$$= \frac{6 \times 16.5}{5.1} - \frac{6 \times 0.65 \times 5.1}{8}$$

$$\approx 16.9 (\text{kN})$$

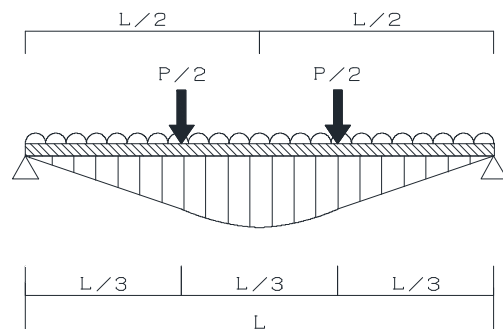


表 3.2.3-3 試験荷重の計算 (試験体記号 B-2)

1) はりの材質及び寸法

- ・荷重支持部材の種類：対称異等級構成構造用集成材（スギ）
- ・強度等級：E 65－F 225（基準強度F：22.5 (N/mm²)）
- ・荷重支持部材の寸法：105×240 (mm)
- ・低減係数：1.02^{※1}
- ・曲げ基準強度 F_b ：24.0×1.02≒24.5 (N/mm²)^{※2}
- ・断面係数 Z：1008×10³ (mm³)
- ・支点間距離 L：5.1 (m)

[備考]

※1：集成材の日本農林規格（平成19年農林水産省告示第1152号第5条表三）による。

※2：ヤング係数（実測値）より，E 75－F 240相当の基準強度（24.0N/mm²）とする。

2) 短期許容曲げモーメント

試験体の短期許容曲げモーメントMは，以下のように算定される。

$$M = \frac{2 F_b Z}{3} = \frac{2 \times 24.5}{3} \times 1008 \times 10^3 (\text{Nmm})$$

$$\approx 16.5 (\text{kNm})$$

3) 試験荷重

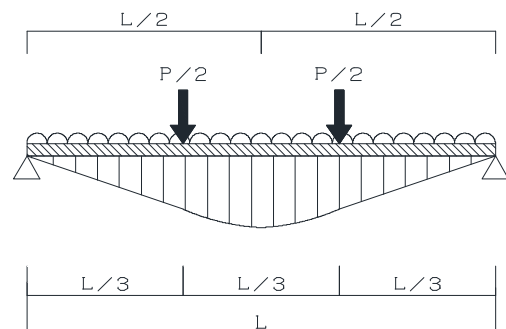
単純支持3等分2線荷重により载荷を行う。

自重Wとの組み合わせにより，支点間中央に長期許容曲げモーメントMが生じるよう，試験荷重Pを以下のように定める。ただし，試験体の実測による長さあたりの自重Wは，0.55kN/mであった。

$$P = \frac{6M}{L} - \frac{6WL}{8}$$

$$= \frac{6 \times 16.5}{5.1} - \frac{6 \times 0.55 \times 5.1}{8}$$

$$\approx 17.3 (\text{kN})$$



3. 2. 4 実験結果及び考察

(1) 実験経過観察、(2) 炉内・試験体各部温度・変位量推移、(3) 炭化性状、(4) 考察を記載する。

(1) 実験経過観察

実験開始から終了までの観察記録を表3.2.4-1に、記録写真を写真3.2.4-1～21に示す。B-1は加熱55分後に被覆材が部分的に脱落し始め、その後64分35秒で試験体の荷重支持能力がなくなったため、加熱を終了し、脱炉後に約3分間断続的に放水を行った。

一方B-2は、加熱開始25分後には被覆材が部分的に脱落し、36分頃から徐々に荷重が抜け、53分30秒には荷重支持能力がなくなったため、加熱を終了した。脱炉後は、継続的に約2分間の放水を行った。なお、表3.2.1-1に示す通り、B-1,2ともに加熱終了時までたわみ量の規定値は越えなかった。

表 3.2.4-1 観察記録（上段：B-1, 下段 B-2）

| B-1 | | | |
|---------|-------------------------------------|---------|------|
| 経過時間 | 加熱面 | 経過時間 | 非加熱面 |
| | 変化内容 | | 変化内容 |
| 0:00:00 | 着火 | | |
| 0:07:00 | 被覆材の表面に細かい亀裂が多数はいる 被覆材の横目地が開き始める | | |
| 0:08:30 | 被覆材下面の隅角部において炭化片が一部欠ける | | |
| 0:17:20 | 被覆材（東側）が一部脱落する | | |
| 0:25:00 | 被覆材表面の亀裂幅が大きくなり始める | | |
| 0:30:00 | 被覆材の目地が開き始める | | |
| 0:55:00 | 試験体中央部（西側）の被覆材が一部脱落 | | |
| 1:04:35 | 破裂音とともに急激に荷重が抜ける | | |
| 1:04:50 | 消火 | | |
| | | 1:11:00 | 脱炉 |
| | | 1:12:15 | 放水開始 |
| | | 1:15:00 | 放水完了 |

| B-2 | | | |
|---------|------------------------|---------|------|
| 経過時間 | 加熱面 | 経過時間 | 非加熱面 |
| | 変化内容 | | 変化内容 |
| 0:00:00 | 着火 | | |
| 0:07:00 | 被覆材の表面に細かい亀裂が多数はいる | | |
| 0:09:00 | 被覆材下面の隅角部において炭化片が一部欠ける | | |
| 0:15:00 | 被覆材の横目地が開き始める | | |
| 0:25:00 | 被覆材（東側）が一部脱落する | | |
| 0:31:00 | 被覆材の横目地が開きが大きくなる | | |
| 0:36:00 | 試験体側面の隅角部より被覆材が反り始める | | |
| ~ | 徐々に荷重が抜け始める | | |
| 0:53:30 | 荷重が概ね抜ける | | |
| 0:54:00 | 消火 | | |
| | | 1:01:20 | 脱炉 |
| | | 1:02:10 | 放水開始 |
| | | 1:04:30 | 放水完了 |

記録写真 (B-1)



写真 3.2.4-1 加熱前試験体全景



写真 3.2.4-2 加熱前の炉内配置



写真 3.2.4-3 加熱前試験体側面

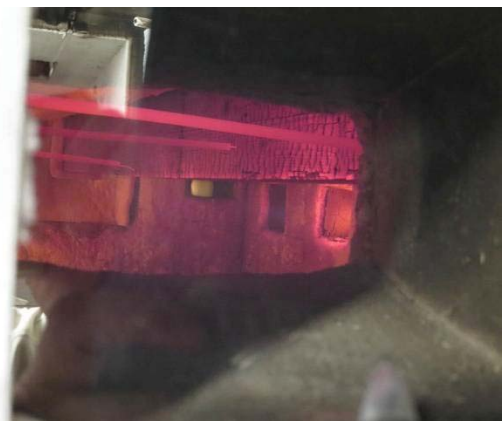


写真 3.2.4-4 加熱開始 10 分

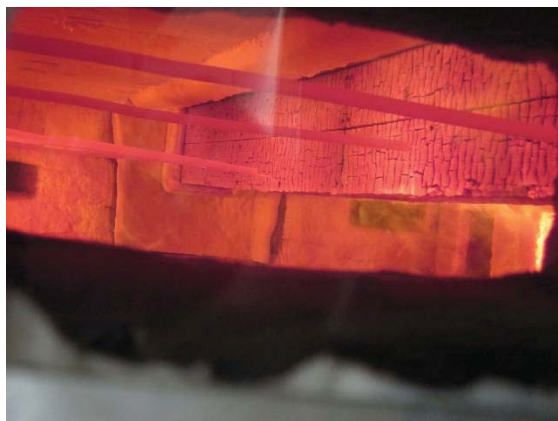


写真 3.2.4-5 加熱開始 20 分



写真 3.2.4-6 加熱開始 30 分

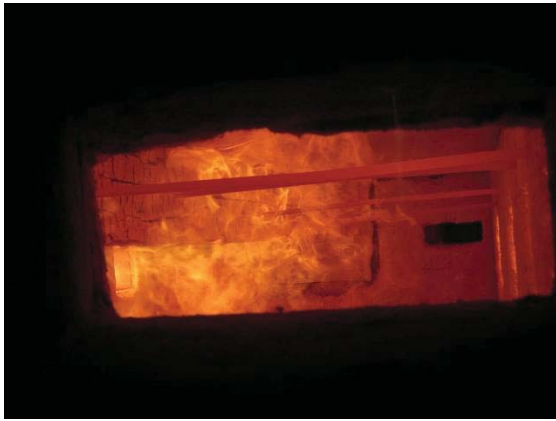


写真 3.2.4-7 加熱開始 40 分

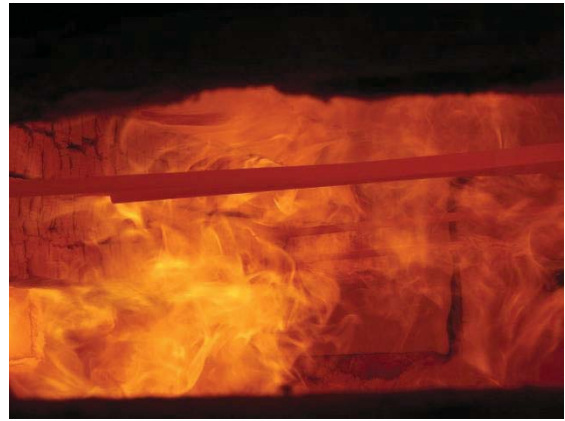


写真 3.2.4-8 加熱開始 50 分



写真 3.2.4-9 加熱開始 60 分



写真 3.2.4-10 加熱終了時

記録写真 (B-2)



写真 3.2.4-11 加熱前試験体全景



写真 3.2.4-12 加熱前

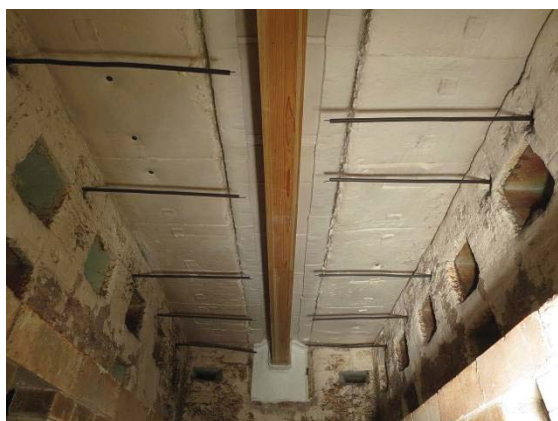


写真 3.2.4-13 加熱前炉内配置



写真 3.2.4-14 加熱開始 10 分



写真 3.2.4-15 加熱開始 20 分



写真 3.2.4-16 加熱開始 30 分

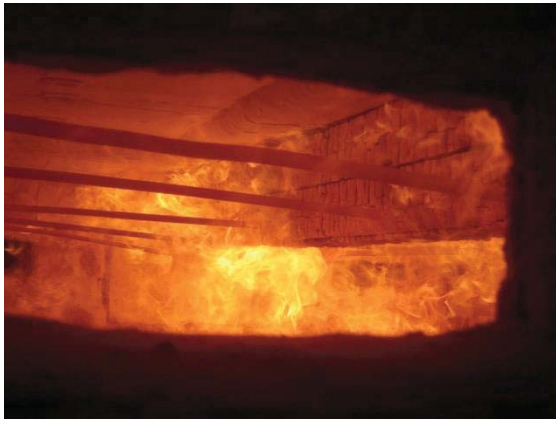


写真 3. 2. 4-17 加熱開始 40 分



写真 3. 2. 4-18 加熱終了直前



写真 3. 2. 4-19 加熱終了後



写真 3. 2. 4-20 加熱終了後



写真 3. 2. 4-21 加熱終了後

(2) 炉内・試験体各部温度・変位量推移

図 3.2.4-1~6 に、B-1, 2 の加熱温度推移、荷重・たわみ量及び内部温度を示す。

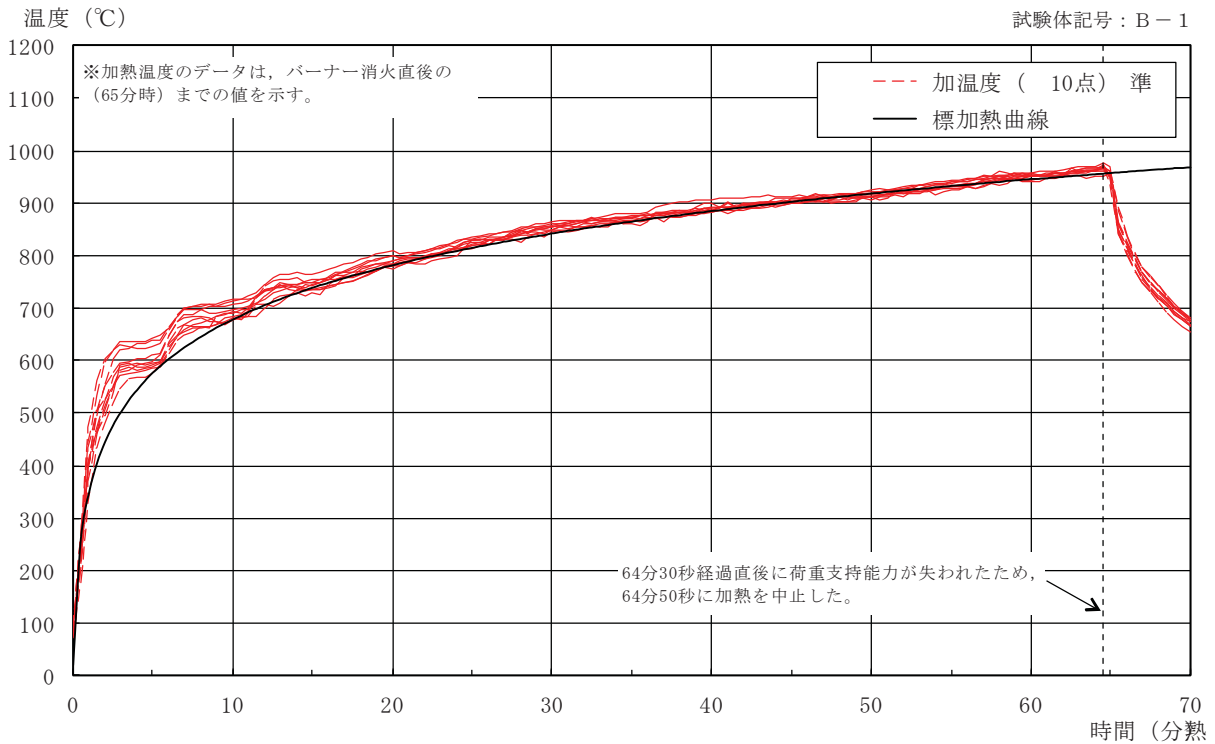


図 3.2.4-1 加熱温度(B-1)

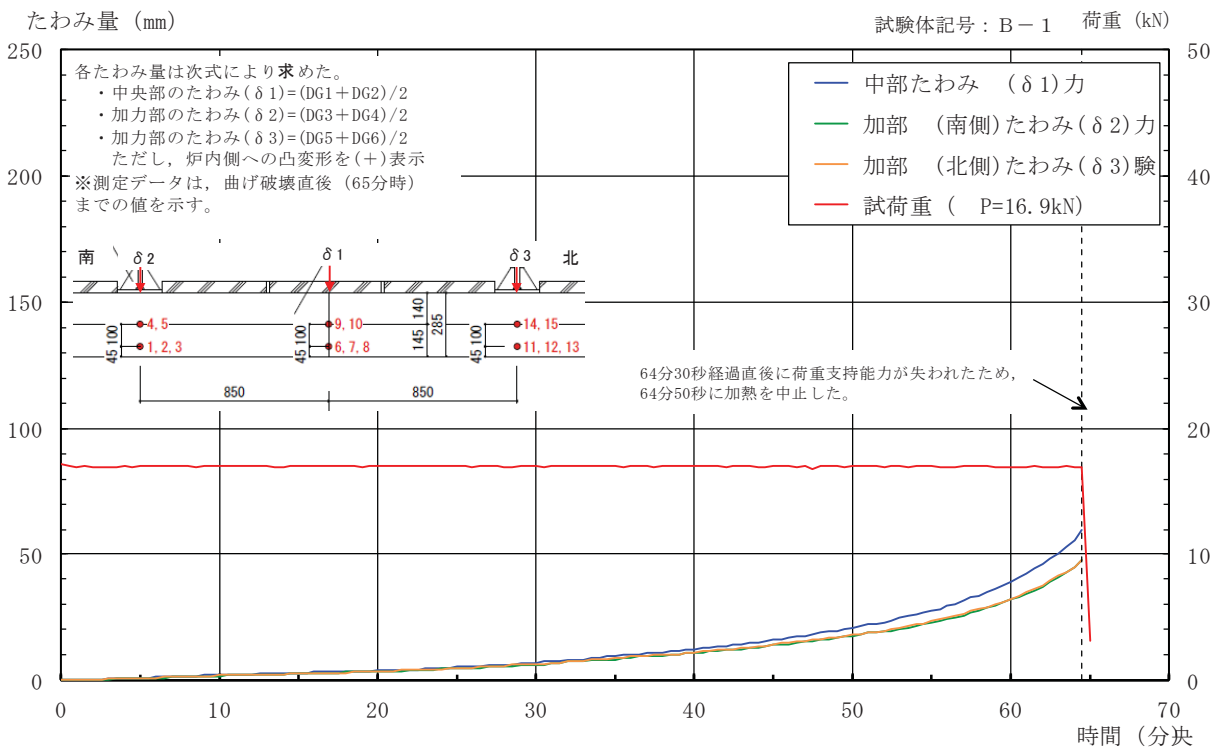


図 3.2.4-2 荷重・たわみ量(B-1)

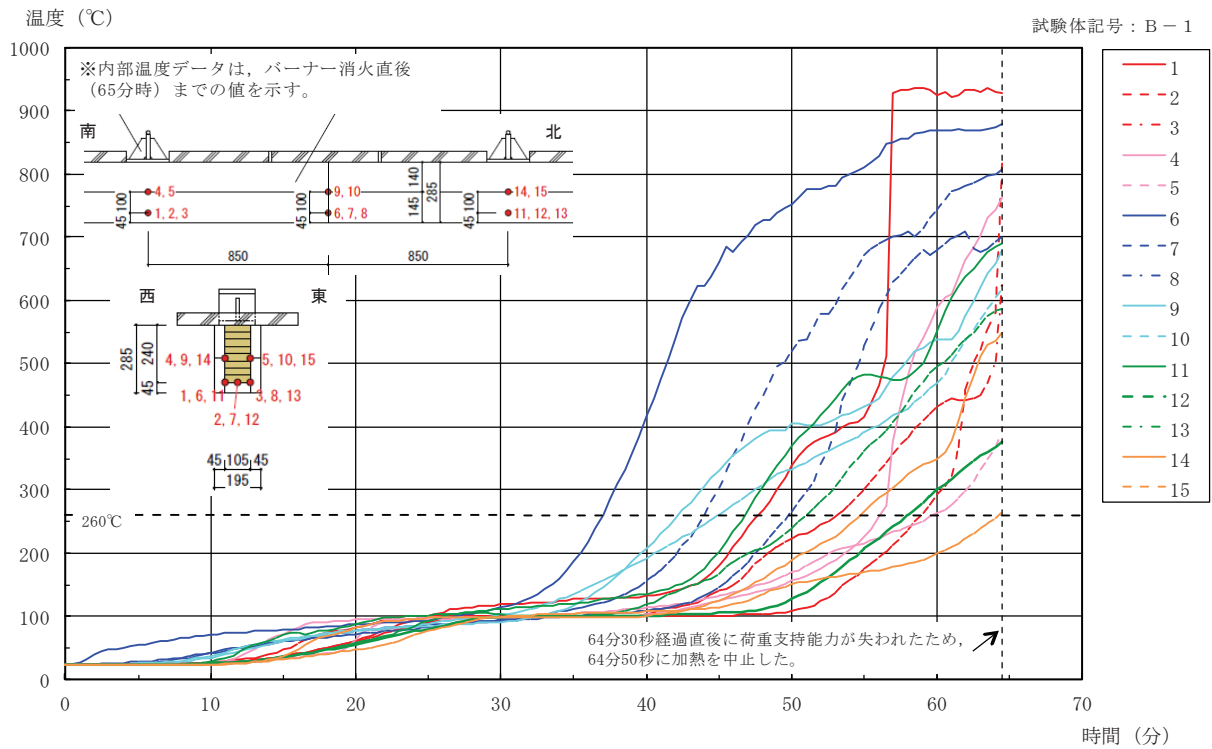


図 3. 2. 4-3 内部温度(B-1)

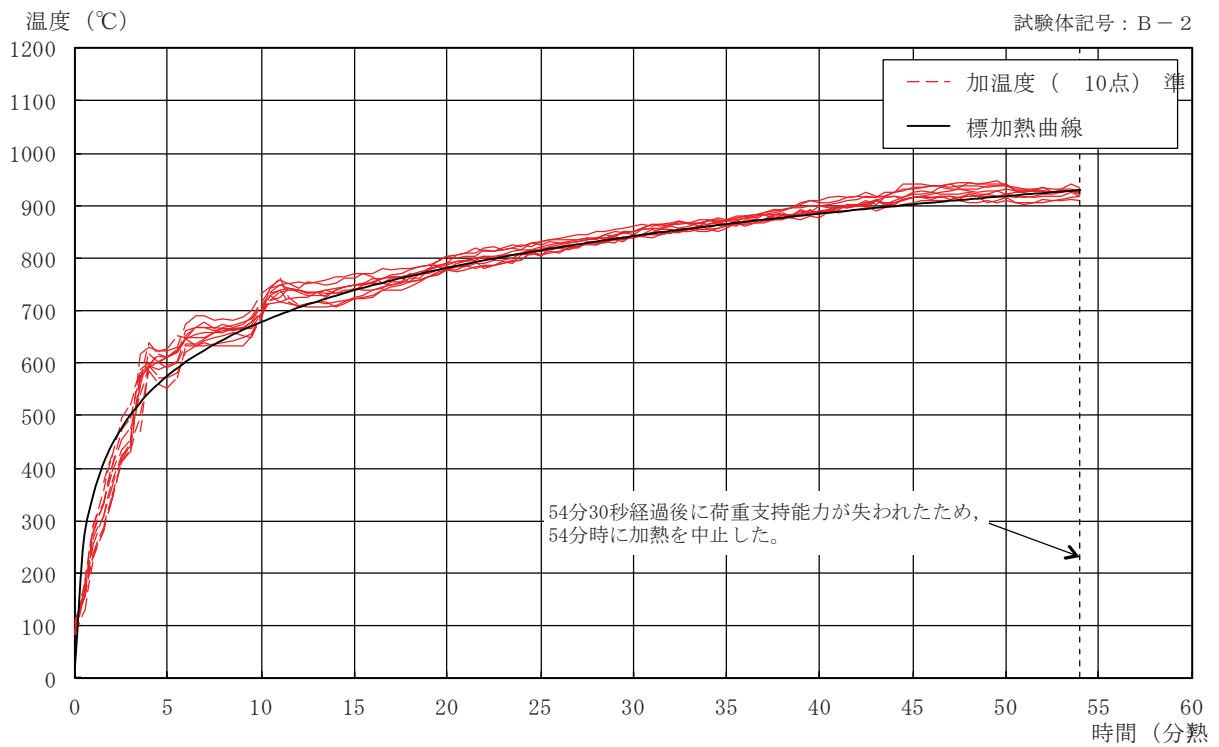


図 3. 2. 4-4 加熱温度(B-2)

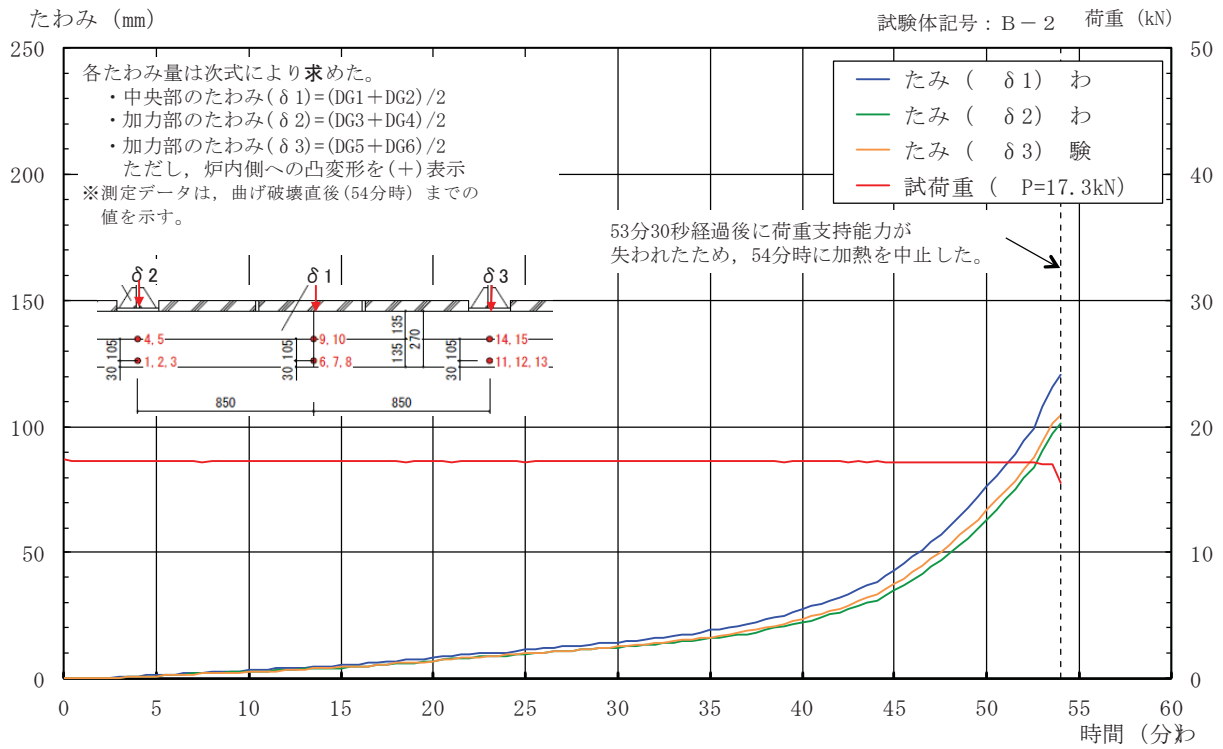


図 3. 2. 4-5 荷重・たわみ量(B-2)

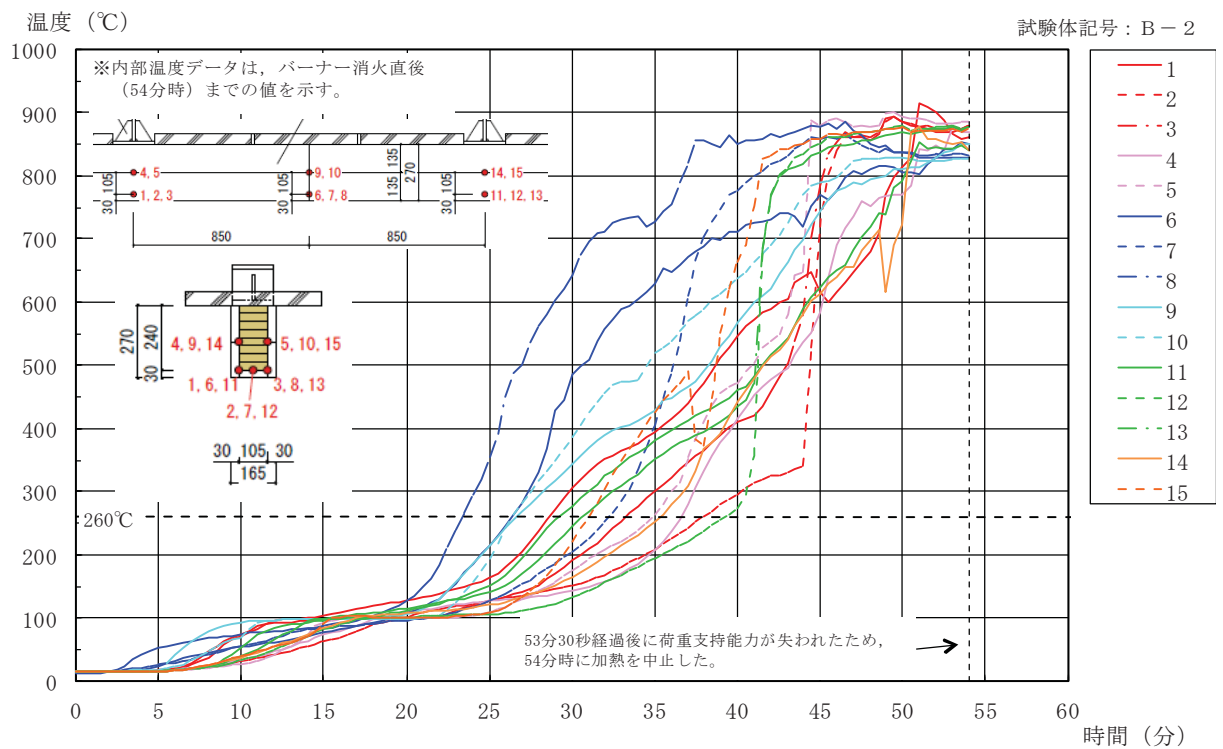


図 3. 2. 4-6 内部温度(B-2)

(3) 炭化性状

図 3.2.4-7~10 に、B-1, 2 の炭化サンプル採取位置及び炭化図、写真 3.2.4-22~28 に炭化サンプルの写真を示す。

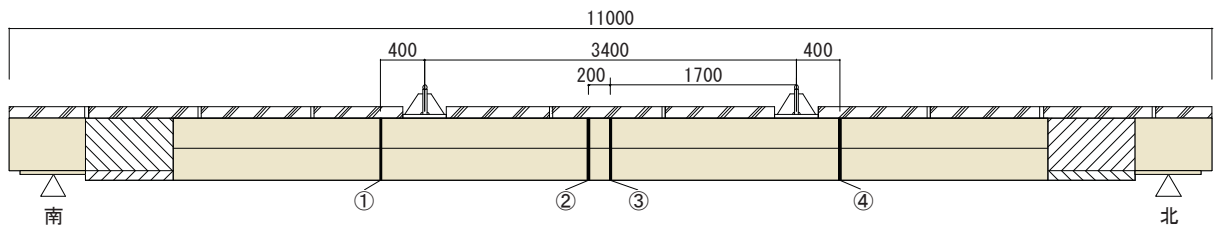


図 3.2.4-7 炭化サンプル採取位置(B-1)

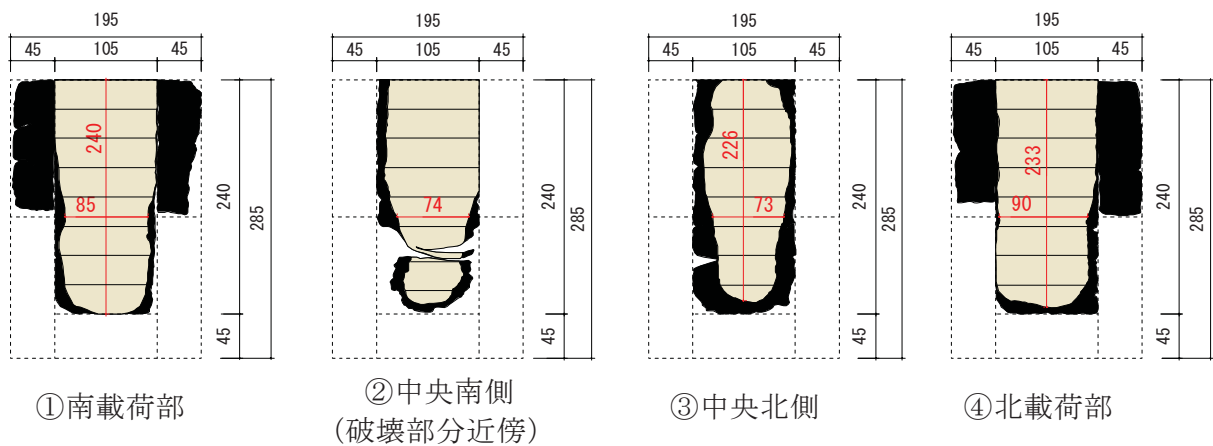


図 3.2.4-8 炭化図(B-1)

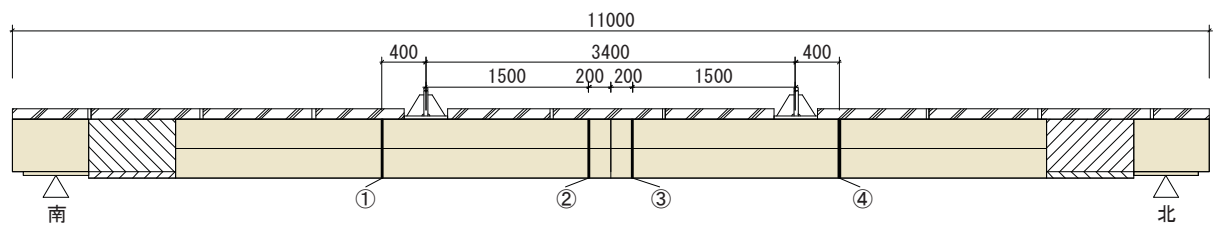


図 3.2.4-9 炭化サンプル採取位置(B-2)

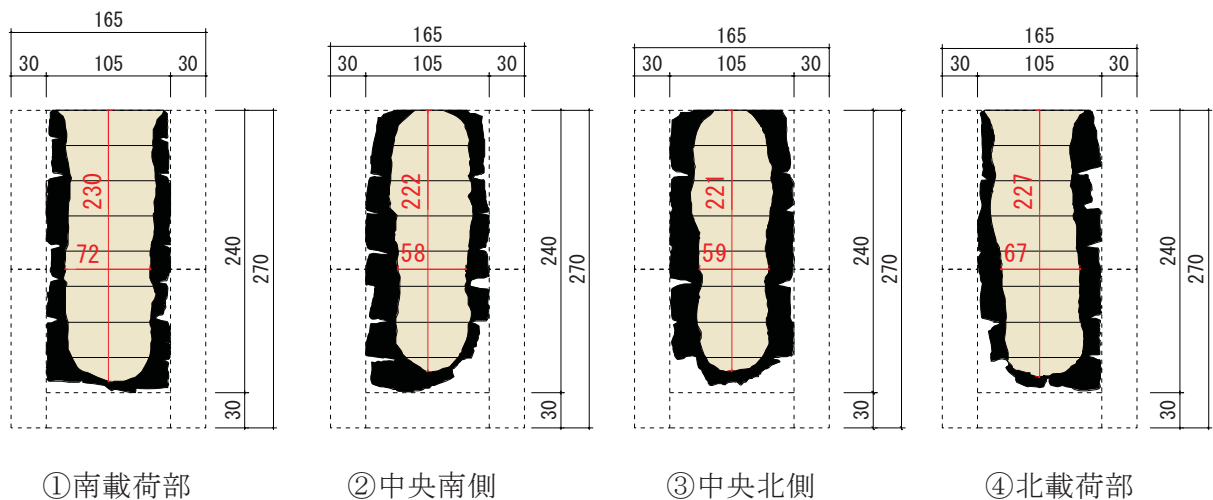


図 3.2.4-10 炭化図(B-2)

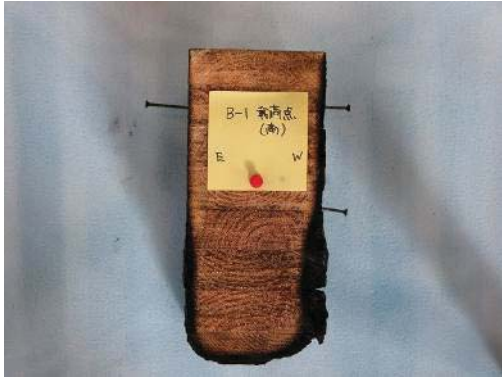


写真 3. 2. 4-22 炭化状況(B-1)

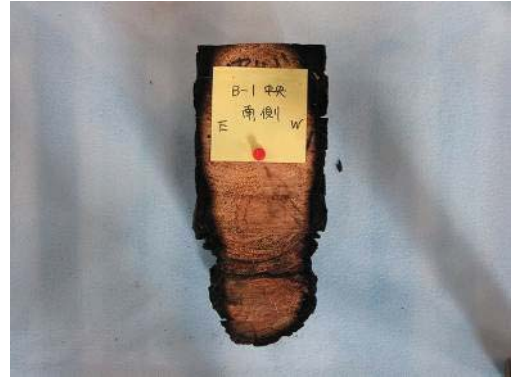


写真 3. 2. 4-23 炭化状況(B-1)

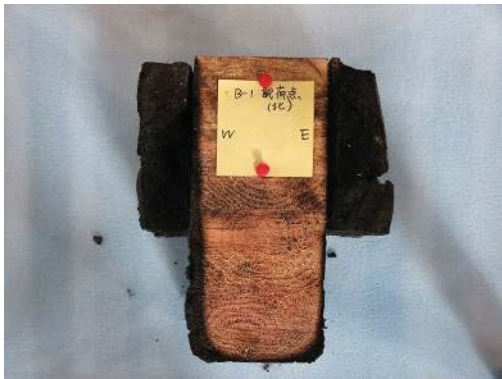


写真 3. 2. 4-24 炭化状況(B-1)



写真 3. 2. 4-25 炭化状況(B-1)



写真 3. 2. 4-26 炭化状況(B-2)



写真 3. 2. 4-27 炭化状況写真(B-2)



写真 3. 2. 4-28 炭化状況(B-2)

(4) 考察

本実験の各試験体における防火被覆の効果について下記の通り考察する。

1) B-1(木材被覆 45mm 厚)

集成材はり表面の260℃到達時間の一覧を表3.2.4-2に示す。実験の結果、B-1は目標性能60分に対し、64分30秒の非損傷性を確保した。集成材はり表面が260℃に到達した時間は、はり側面被覆裏面（以後、一般部（側面）と呼ぶ）で42分30秒、はり下面被覆裏面（以後、一般部（下面）と呼ぶ）で50分、はり下側隅角部被覆裏面（以後、隅角部と呼ぶ）で37分となった。これは、小型の比較実験(3章1節)のT3における、一般部（側面）43分55秒、一般部（下面）で41分40秒、隅角部で37分5秒と比べ、側面及び隅角部においては、ほぼ同程度となり、下面では、8分程度遅れる結果となった。これにより被覆材が同じ仕様（45mm厚一枚張り）の場合、留付間隔の違い（B-1は留付間隔500mm、T3は200mm）による防耐火性能への影響は小さいと考えられる。また、留付間隔455mmの小型の比較実験KF-3⑥(2章2節)と比較すると、実大はりB-1の方が各部の260℃到達時間が5～15分程度早い結果となった。これは載荷によるたわみの影響が考えられる。

表 3.2.4-2 260℃到達時間一覧 (B-1)

| 計測位置 | 載荷点(試験体中央より+850mm) | | | | | 試験体中央 | | | | | 載荷点(試験体中央より+850mm) | | | | |
|-----------------|--------------------|------|-----|------|----|-------|----|-----|------|----|--------------------|------|-----|----|------|
| | 隅角部 | | 一般部 | | | 隅角部 | | 一般部 | | | 隅角部 | | 一般部 | | |
| 熱電対番号 | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 7 | 9 | 10 | 11 | 13 | 12 | 14 | 15 |
| 260℃到達時間 [分] | 48 | 53.5 | 59 | 56.5 | 60 | 37 | 44 | 50 | 42.5 | 45 | 47 | 51.5 | 58 | 55 | 64.5 |

* 一般部の内、熱電対番号2,7,13は、はり下面を計測した値を示す

2) B-2(木材被覆 30mm 厚)

集成材はり表面の260℃到達時間の一覧を表3.2.4-3に示す。実験の結果、B-2は目標性能45分に対し、53分30秒の非損傷性を確保した。集成材はり表面の260℃到達時間は、一般部（側面）で26分30秒、一般部（下面）で32分30秒、隅角部で23分30秒となった。小型の比較実験(3章1節)のT5における、一般部（側面）27分30秒、一般部（下面）で26分、隅角部で19分と比べ、側面はほぼ同程度、下面及び隅角部では5分程度遅れる結果となった。これにより、被覆材が同じ仕様（30mm厚一枚張り）の場合、留付間隔の違い(B-2は留付間隔500mm、T5は200mm)による防耐火性能への影響は小さいと考えられる。

表 3.2.4-3 260℃到達時間一覧 (B-2)

| 計測位置 | 載荷部(試験体中央より+850mm) | | | | | 試験体中央 | | | | | 載荷点(試験体中央より+850mm) | | | | |
|-----------------|--------------------|------|-----|----|----|-------|------|------|----|------|--------------------|----|------|------|----|
| | 隅角部 | | 一般部 | | | 隅角部 | | 一般部 | | | 隅角部 | | 一般部 | | |
| 熱電対番号 | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 7 | 9 | 10 | 11 | 13 | 12 | 14 | 15 |
| 260℃到達時間 [分] | 29 | 33.5 | 38 | 37 | 35 | 26.5 | 23.5 | 32.5 | 27 | 26.5 | 29.5 | 31 | 39.5 | 35.5 | 31 |

* 一般部の内、熱電対番号2,7,13は、はり下面を計測した値を示す

また B-1, 2 ともに、載荷点に比べ試験体中央部での 260℃到達時間が早く、これは、試験体中央の温度計測位置が木材被覆の目地部であり、加熱中試験体のたわみ量が増加するに伴い、被覆材の目地が開いたためと考えられる。また実験後の炭化図（図 3. 2. 4-8, 10）においても、B-1, 2 ともに、載荷点周辺の残存断面に対し、試験体中央の残存断面の方が 10mm 程度小さい結果となった。




3. 3 防火被覆の炭化抑制効果を考慮した柱の載荷加熱実験 (C-1~3)

3. 3. 1 実験概要

本実験の概要を表 3. 3. 1-1 に示す。本実験は、小中断面の柱について、45 分及び 1 時間準耐火性能を有する木材被覆柱の仕様を実大の載荷加熱実験により確認する。防火被覆は 3 章 2 節のはりと同仕様の木材被覆及び、2 章 1 節の小型実験 (KF-1, 2) の結果より不燃材料 (せっこうボード 12.5 mm 厚) の被覆による炭化抑制の効果を見込んだ燃えしろ寸法の 3 種類とする。

また 3 章 1 節の比較実験では、被覆材の留付間隔が短いため、加熱実験の結果が安全側に評価されることがある。そこで本実験では、実大柱 (同一等級構成構造用集成材 E65-F255、スギ) の試験体を用いることで、留付間隔の寸法の違いが柱の準耐火性能に与える影響についても確認する。

表 3. 3. 1-1 実験概要一覧 (C-1, 2, 3)

| 部材種類 | 柱 | | | |
|-------------------|--|--|---|--|
| 試験体No. | C-1 | C-2 | C-3 | |
| 仕様 (mm) |  スギ集成材105×105 (同一等級構成E65-F255) 被覆材:木材(スギ)45厚 (留め間隔500) |  スギ集成材105×105 (同一等級構成E65-F255) 被覆材:木材(スギ)30厚 (留め間隔500) |  スギ集成材150×150 (同一等級構成E65-F255) 被覆材:せっこうボード12.5厚 (留め間隔500) | |
| 含水率* 密度* | 支持部材:9.9%、被覆材:10.9% 支持部材:0.36 g/cm ³ 、被覆材:0.33 g/cm ³ | 支持部材:9.9%、被覆材:10.0% 支持部材:0.36 g/cm ³ 、被覆材:0.33 g/cm ³ | 支持部材:10.0%、被覆材:0.4% 支持部材:0.31 g/cm ³ 、被覆材:0.64 g/cm ³ | |
| 載荷荷重 | 柱の短期許容荷重 38.4kN (載荷時の収縮量:2.3mm) | 柱の短期許容荷重 38.4kN (載荷時の収縮量:2.4mm) | 燃えしろ27除いた 柱の短期許容荷重 29.1kN (載荷時の収縮量:2.7mm) | |
| 加熱時間 | 63分50秒 | 45分40秒 | 53分30秒 | |
| 結果 | 非損傷性 | 63分46秒 | 45分30秒 | 53分15秒 |
| | 遮熱性 | — | — | — |
| | 遮炎性 | — | — | — |
| | 最大収縮量 | 37.8 mm (規定値:33 mm) 64分に規定値超 | 39.1 mm (規定値:33 mm) 45分30秒に規定値超 | 45.25mm (規定値:33 mm) 53分30秒に規定値超 |
| | 最大収縮速度 | 65.2mm/分 (規定値:9.9 mm/分) 64分に規定値超 | 52.3mm/分 (規定値:9.9 mm/分) 45分30秒に規定値超 | 76.7mm/分 (規定値:9.9 mm/分) 53分30秒に規定値超 |
| 防耐火時間 (目標性能時間) | 63分46秒 (60分) | 45分30秒 (45分) | 53分15秒 (60分) | |
| 実験主旨 | イ・ロ | | | |
| 実験場所 | 建材試験センター | | | |
| 実験日程 | 11月4日 | 11月5日 | 12月24日 | |

*含水率及び密度は、3個のサンプルの平均値を示す

 : 目標性能時間に達しなかったもの

実験主旨

- (イ)防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
- (ロ)防火被覆の脱落抑制に関する実験
- (ハ)複合部材、取合部の防火上有効な措置に関する実験

3. 3. 2 試験体概要

試験体の仕様一覧を図3.3.2-1に、試験体図を図3.3.2-2～7に示す。集成材柱の寸法は、C-1, 2 では105角×座屈長さ3,300mmとし、45分準耐火性能及び1時間準耐火性能を目標とする試験体を1体ずつ設計した。またC-3は、150角×座屈長さ3,300mmの集成材柱を用いて、燃え込み相当27mm^{*}を燃えしろ寸法とし、1時間準耐火性能を目標とする試験体を1体設計した。

※燃えしろ寸法の詳細については、2章1節を参照のこと。

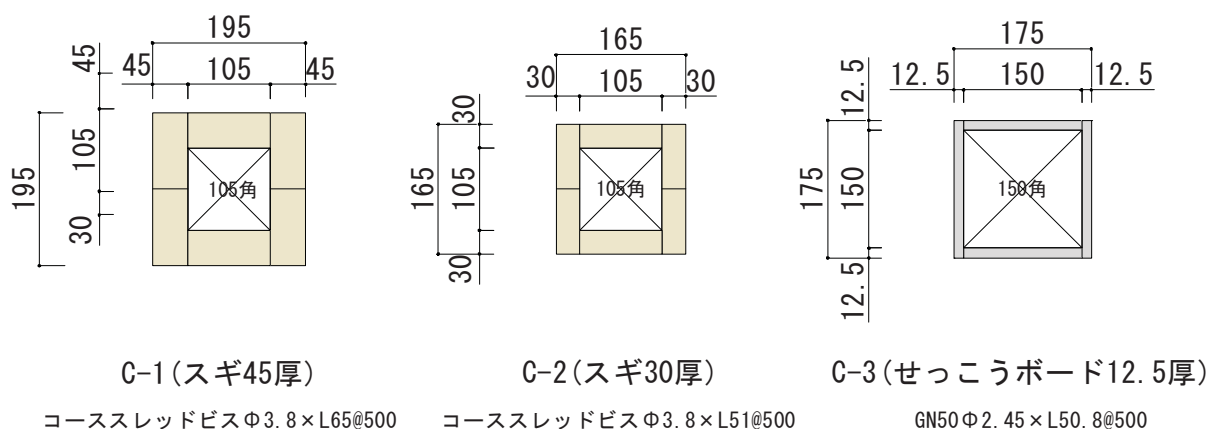


図 3.3.2-1 試験体仕様(C-1, 2, 3)

(1) C-1 (目標性能：1時間準耐火性能)

105mm×105mmの集成材柱に45mm厚のスギ板を張った。スギ板は、コーススレッドビスφ3.8mm×L65mm(長辺方向：留付間隔500mm、短辺方向：端部2箇所(500mm以下))にて留め付けた。

(2) C-2 (目標性能：45分準耐火性能)

105mm×105mmの集成材柱に30mm厚のスギ板を張った。スギ板は、コーススレッドビスφ3.8mm×L51mm(長辺方向：留付間隔500mm、短辺方向：端部2箇所(500mm以下))にて留め付けた。

(3) C-3 (目標性能：1時間準耐火性能)

150mm×150mmの集成材柱に12.5mm厚のせっこうボードを張った。せっこうボードは、GN50φ2.45mm×L50.8mm(長辺方向：留付間隔500mm、短辺方向：端部2箇所(500mm以下))にて留め付けた。

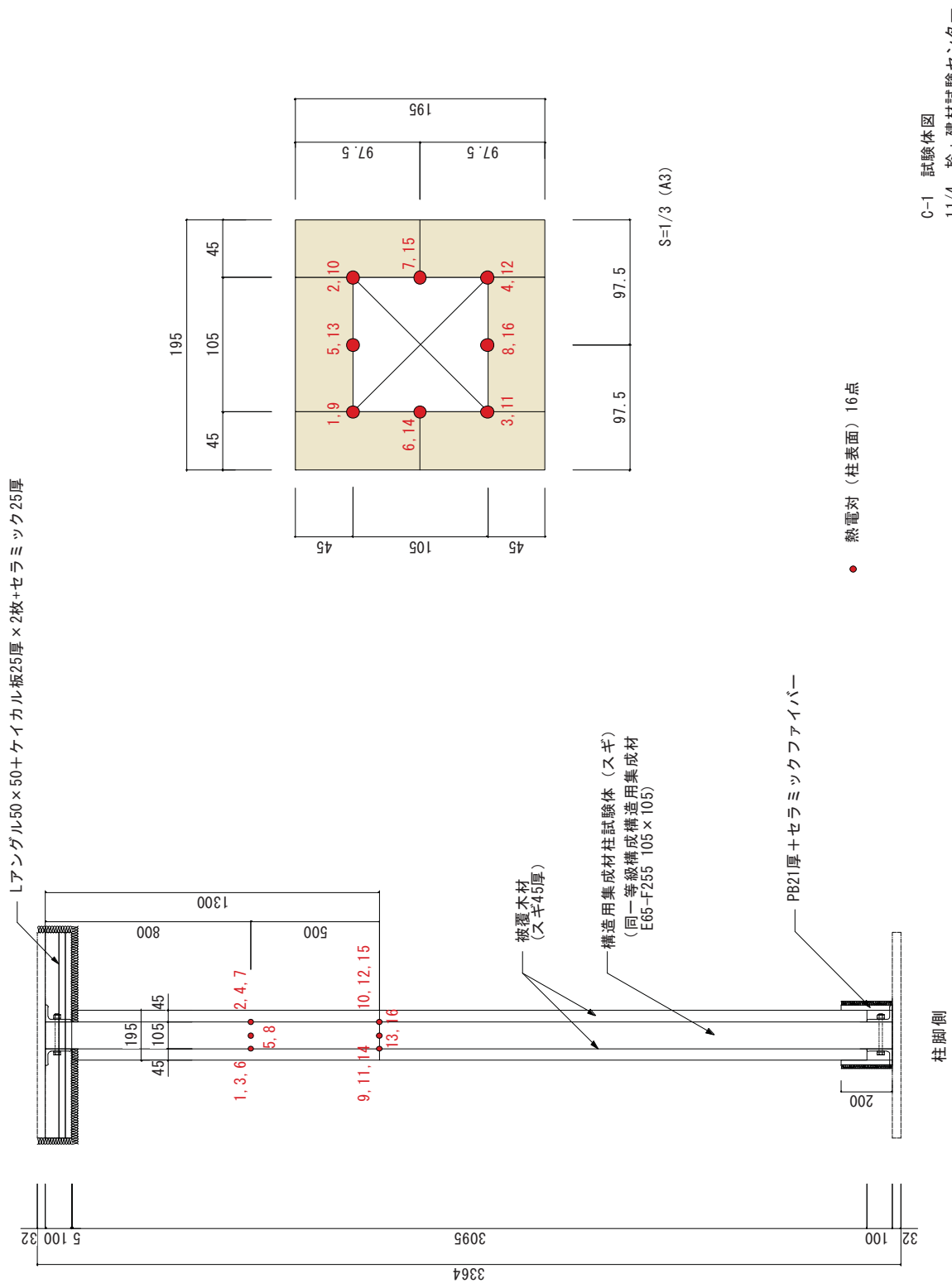
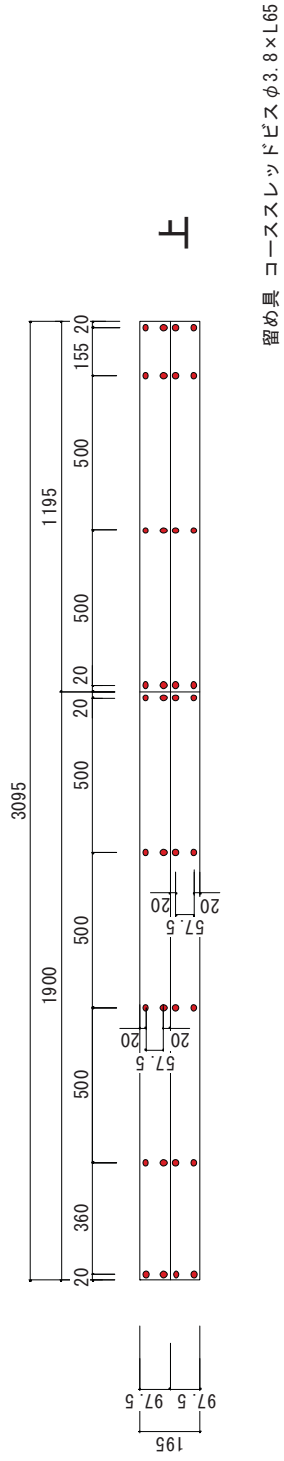
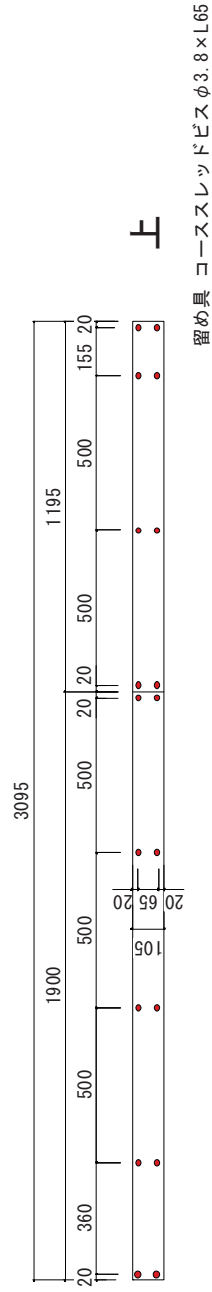


図 3. 3. 2-2 試験体図・熱電対配置図 (C-1)



幅広面割付図



幅狭面割付図

図 3.3.2-3 被覆材割付図(C-1)

| | | |
|--------------------------|-------|--------------|
| Title 木材被覆柱載荷加熱実験 C-1 | Scale | 1/15 (A3) |
| | Date | 2015. 11. 04 |

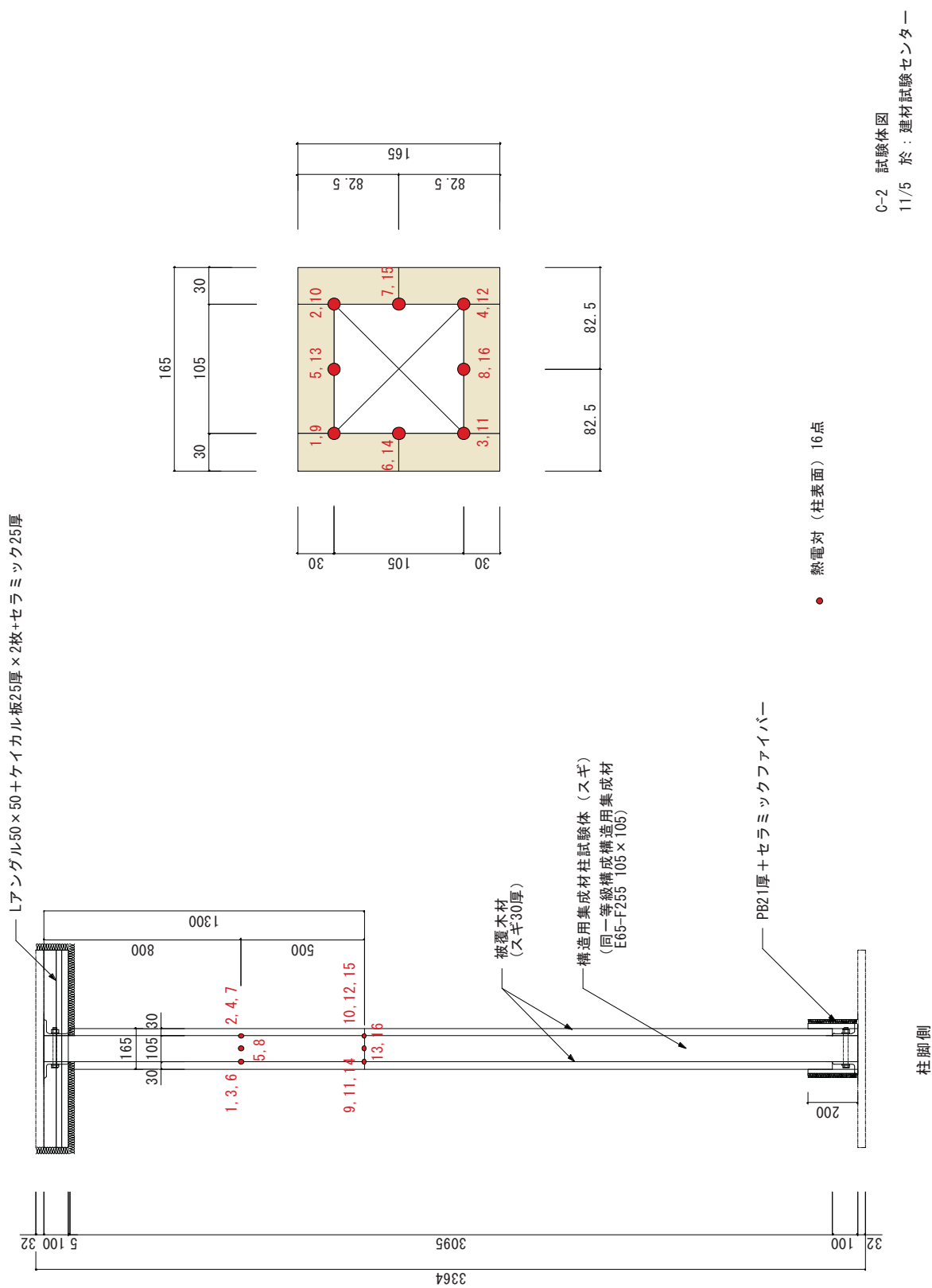
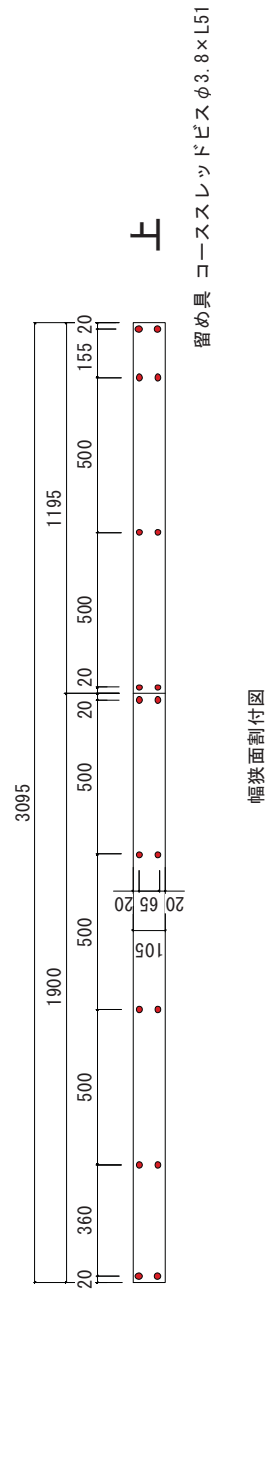
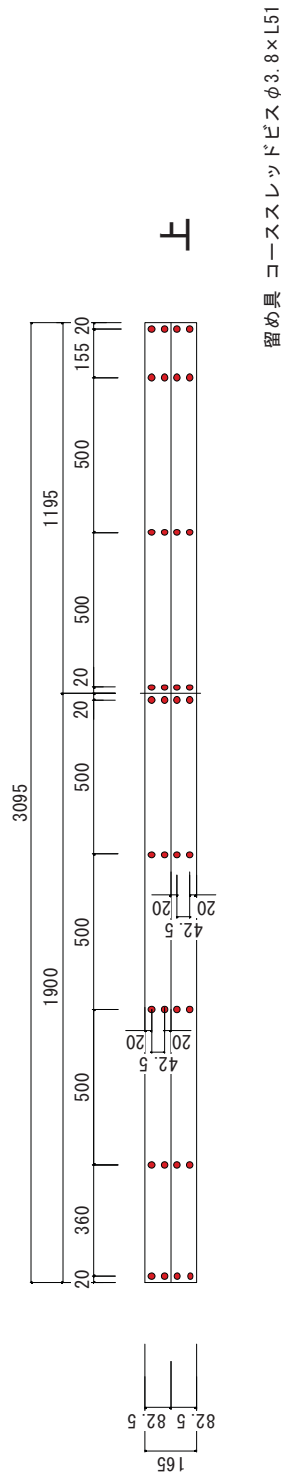


図 3. 3. 2-4 試験体図・熱電対配置図 (C-2)



| | | |
|------------------------------------|-------|--------------|
| Title 木材被覆柱載荷加熱実験 C-2 被覆材割付図 | Scale | 1/15 (A3) |
| | Date | 2015. 11. 05 |

図 3. 3. 2-5 被覆材割付図 (C-2)

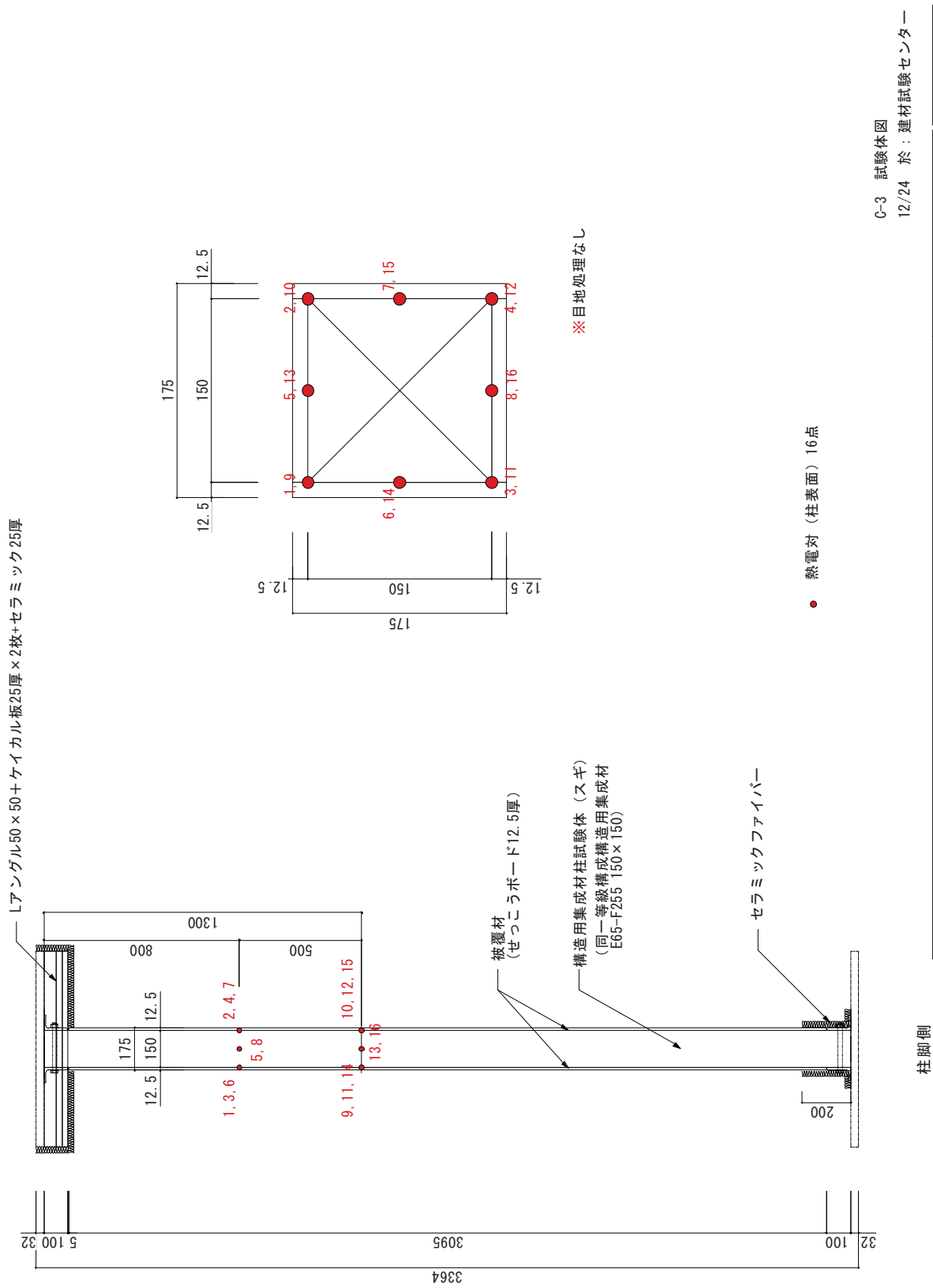
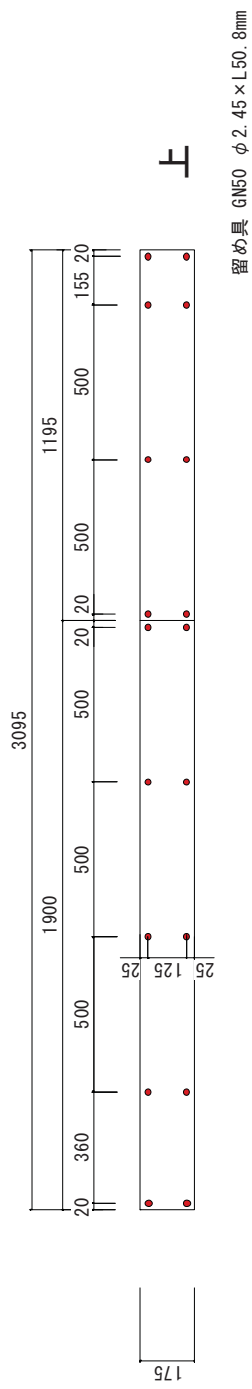
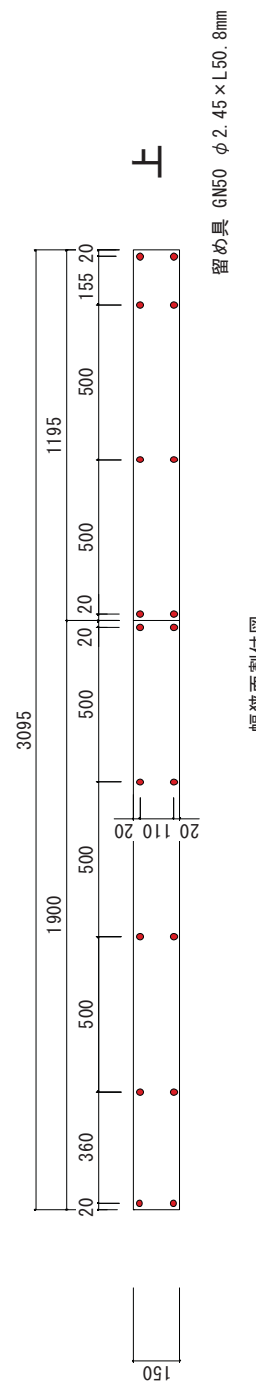


図 3. 3. 2-6 試験体図・熱電対配置図(C-3)



幅広面割付図



幅狭面割付図

| | | |
|------------------------|-------|--------------|
| Title 被覆柱載荷加熱実験 C-3 | Scale | 1/15 (A3) |
| | Date | 2015. 12. 24 |

図 3.3.2-7 被覆材割付図(C-4)

3. 3. 3 実験方法

本実験は、下記日時及び場所で実験を実施し、(1)～(4)に則して実験を実施した。

- 実験日時 (C-1)：2015年11月04日(水)
- 実験日時 (C-2)：2015年11月05日(木)
- 実験日時 (C-3)：2015年12月24日(木)
- 実験場所：一般財団法人 建材試験センター・中央試験所 柱炉

(1) 加熱方法

IS0834に規定する標準加熱曲線に準拠し45分または60分間を目標に加熱を行った。ただし、安全上に問題がある場合は試験を中止する事とした。柱炉の試験体配置図を図3.3.3-1～6に示す。

(2) 載荷方法

本実験は、油圧ジャッキを用いて鉛直荷重を加えた。各試験の荷重は、表3.3.3-2,3に示す荷重計算により、試験体の構造支持断面または燃えしろ寸法を除いた断面に短期許容応力度が発生する荷重(C-1及びC-2は38.4kN、C-3は29.1kN)を載荷した。なお、C-1,2は試験体の強度等級規格である同一等級構成E65-F255の基準強度(20.6 N/mm²)、C-3は試験体のヤング係数を実測結果よりE75-F270相当の基準強度(22.3N/mm²)を用いて、載荷荷重を算定した。

表 3. 3. 3-1 試験体のヤング係数実測値

| 部材種類 | 試験体No. | 集成材種類 | 寸法 [mm] | 体積 [m ³] | 質量 [kg] | 密度 [kg/m ³] | 支持間距離 [mm] | 周波数 [Hz] (平均値) | 縦振動ヤング係数 [kN/mm ²] | 10%補正 [kN/mm ²] |
|------|--------|----------------|--------------|-------------------------|------------|----------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 柱 | C-1 | 同一等級構成 (スギ) | 105×105×4000 | 0.044 | 17.3 | 392.3 | 3000 | 588.9 | 8.71 | 7.84 |
| | C-2 | | 105×105×4000 | 0.044 | 18.2 | 411.6 | | 587.5 | 9.09 | 8.18 |
| | C-3 | | 150×150×4002 | 0.090 | 30.4 | 411.6 | | - | 7.79 | 7.01 |

(3) 測定項目

①試験体内部温度

K熱電対を試験体の各測定位置に取り付け、温度を30秒間隔で測定した。

②炉内温度

シー型K熱電対を試験体表面から100mm離れた位置に16点配置し、試験体の耐火炉内温度を30秒間隔で測定した。

③軸方向収縮量

耐火炉下部に設置した変位計を用いて、30秒間隔で測定した。

④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した。

⑤炭化速度

試験終了後、試験体内部温度測定の各計測点について、測定深さ (mm) (試験体表面からの測定点までの距離) を (mm)、260℃到達時間 (分) で除した値を炭化速度 (mm/分) として算定した。

$$\text{炭化速度 (mm/分)} = \text{測定深さ (mm)} \div \text{260℃到達時間 (分)}$$

⑥含水率

試験体に使用した木材よりサンプルを採取し、試験体と同状況下で養生した後、乾燥炉（105℃）に入れ乾燥させて試験体の含水率を算定した。木材の含水率の計算式を下記に示す。

$$\text{含水率 (\%)} = \{(\text{乾燥前の重量} - \text{絶乾後の重量}) / \text{絶乾後の重量}\} \times 100$$

なお、せっこうボードは40℃で乾燥し算定した。

⑦その他

試験体加熱面の目視観察、写真撮影等を行った。

（4）防耐火性能の評価

実験の評価方法は、性能評価機関の「防耐火性能試験・性能評価業務方法書（準耐火性能試験方法）」に則し、非損傷性を柱の軸方向収縮量より判断する。ただし、目標性能時間を経過した段階で、防耐火性能の余力の有無を観察するため、加熱時間は安全上の問題がない限り継続し、実験経過により加熱停止の判断をした。

①非損傷性

試験体の最大軸方向収縮量及び最大軸方向収縮速度が、次の値以下であること。

$$\text{最大軸方向収縮量 [mm]} : h/100$$

$$\text{最大軸方向収縮速度 [mm/分]} : 3h/1000$$

$$h : \text{試験体の初期高さ [mm]}$$

本実験では、 $h=3,300\text{mm}$ であるため、最大軸方向収縮量及び最大軸方向収縮速度は、下記の数値となる。

$$\text{最大軸方向収縮量} : 3,300 / 100 = 33 \text{ [mm]}$$

$$\text{最大軸方向収縮速度} : (3 \times 3,300) / 1000 = 9.9 \text{ [mm/分]}$$

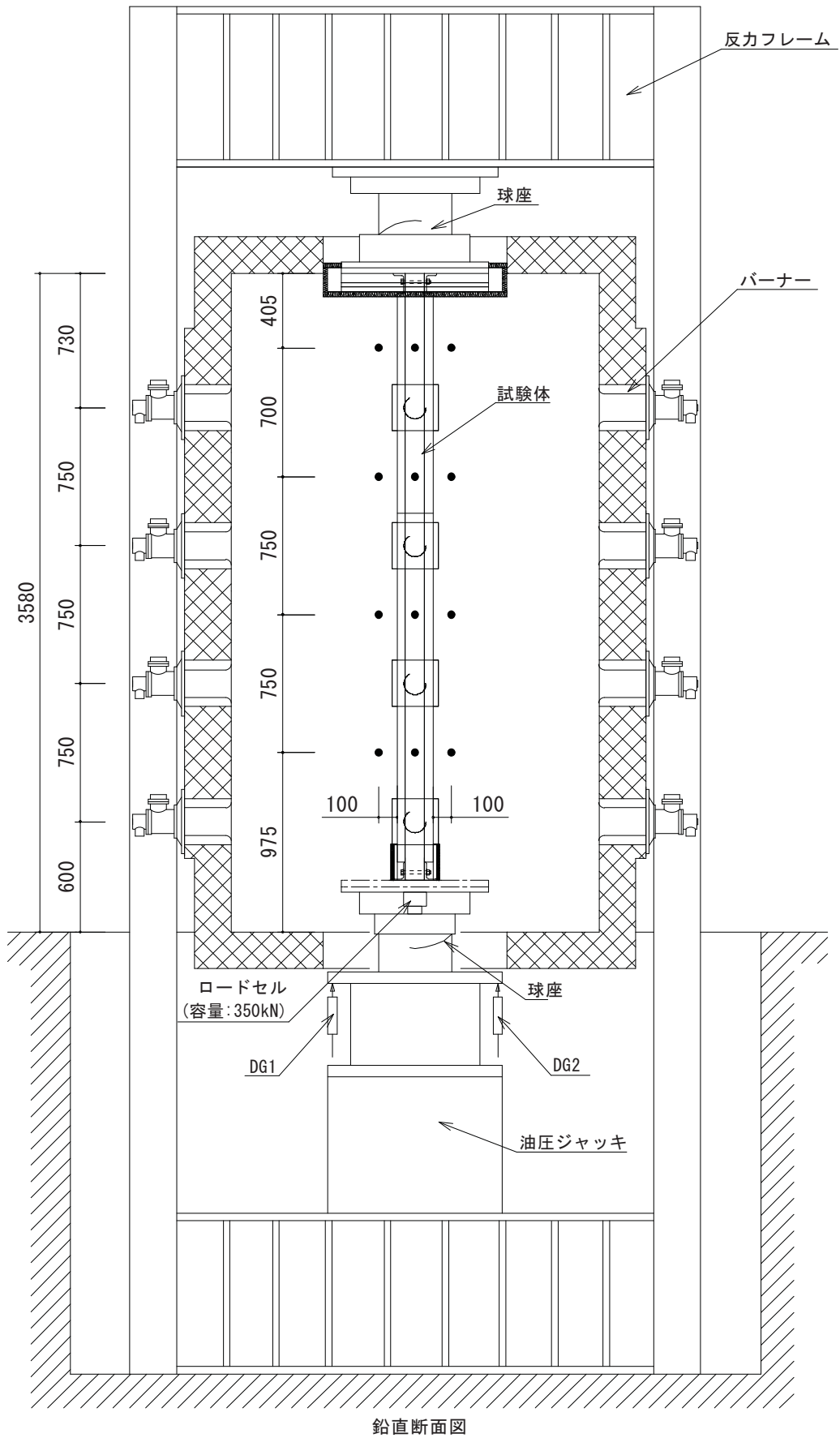
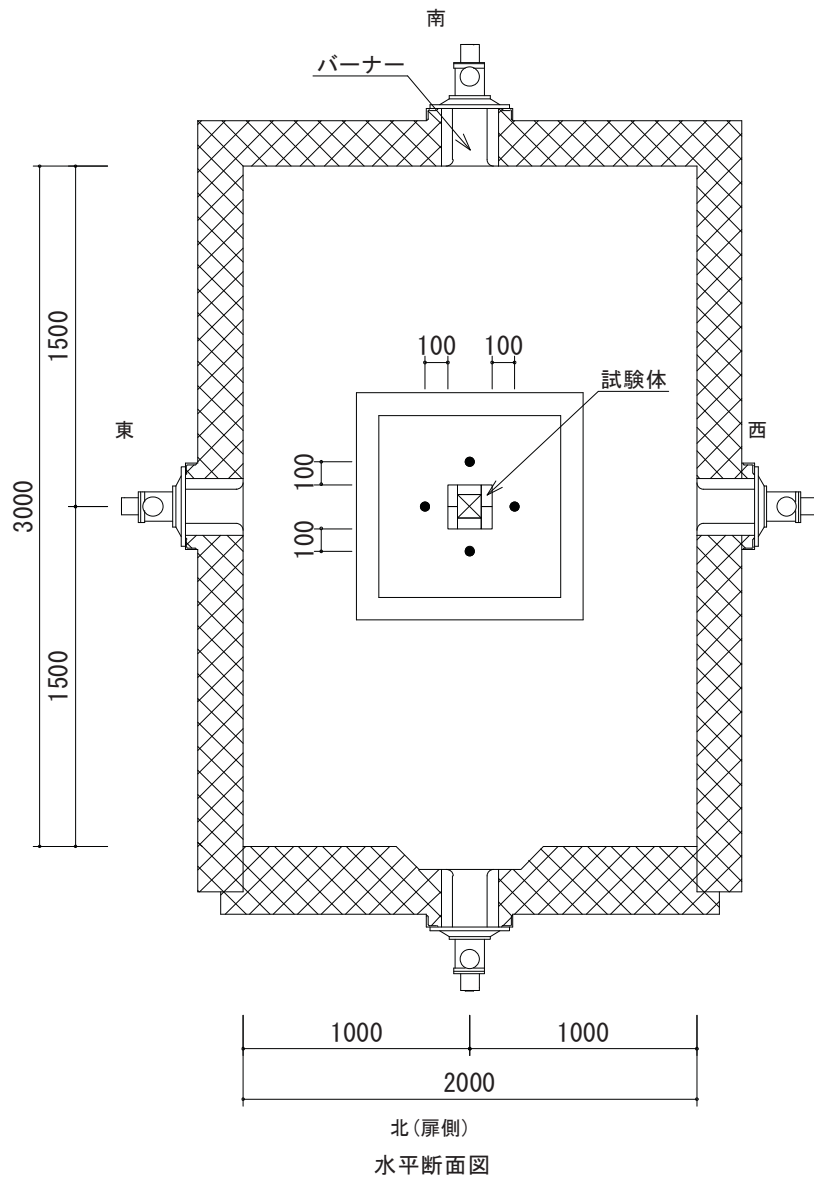
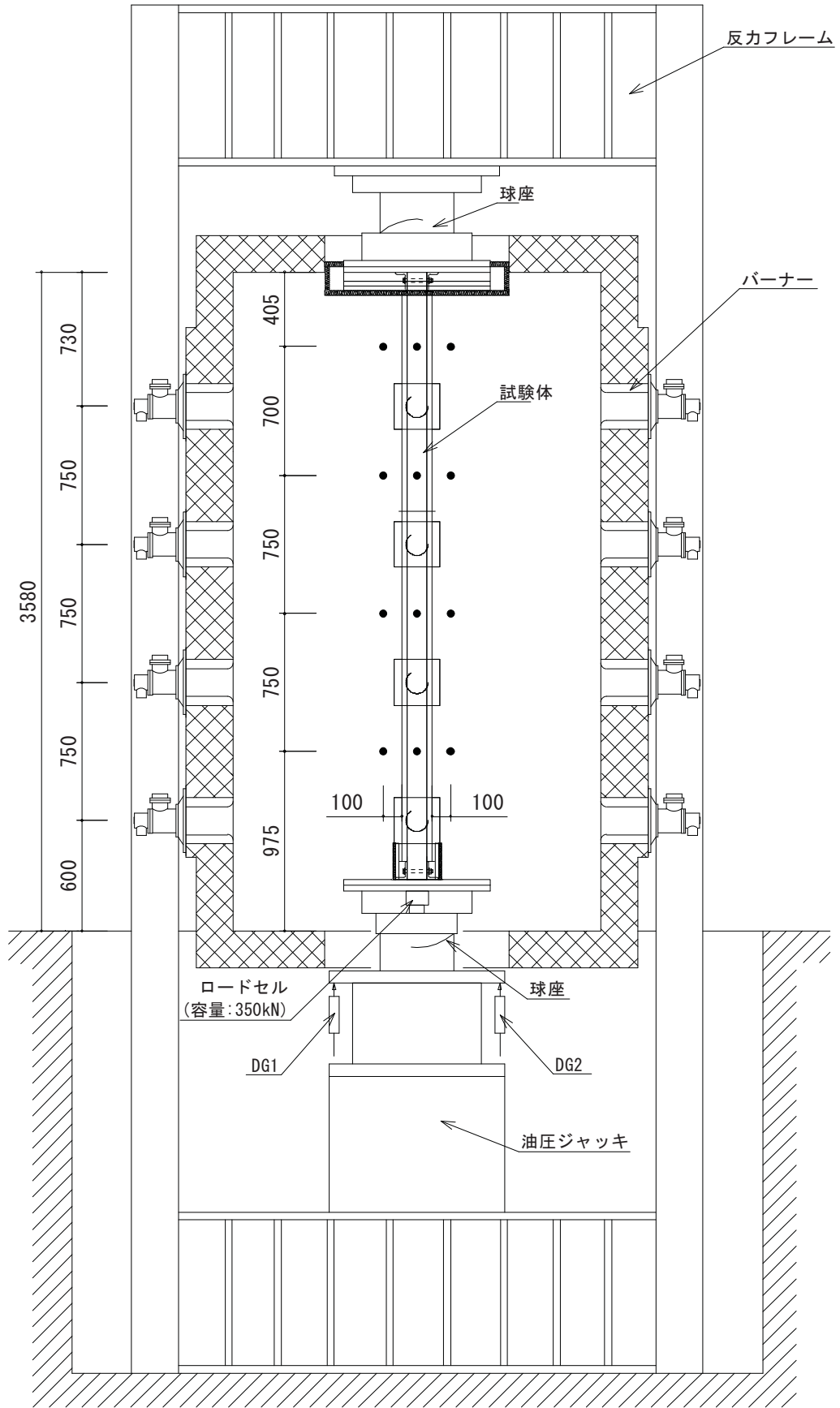


図 3.3.3-1 炉内配置図 (鉛直断面) (C-1)



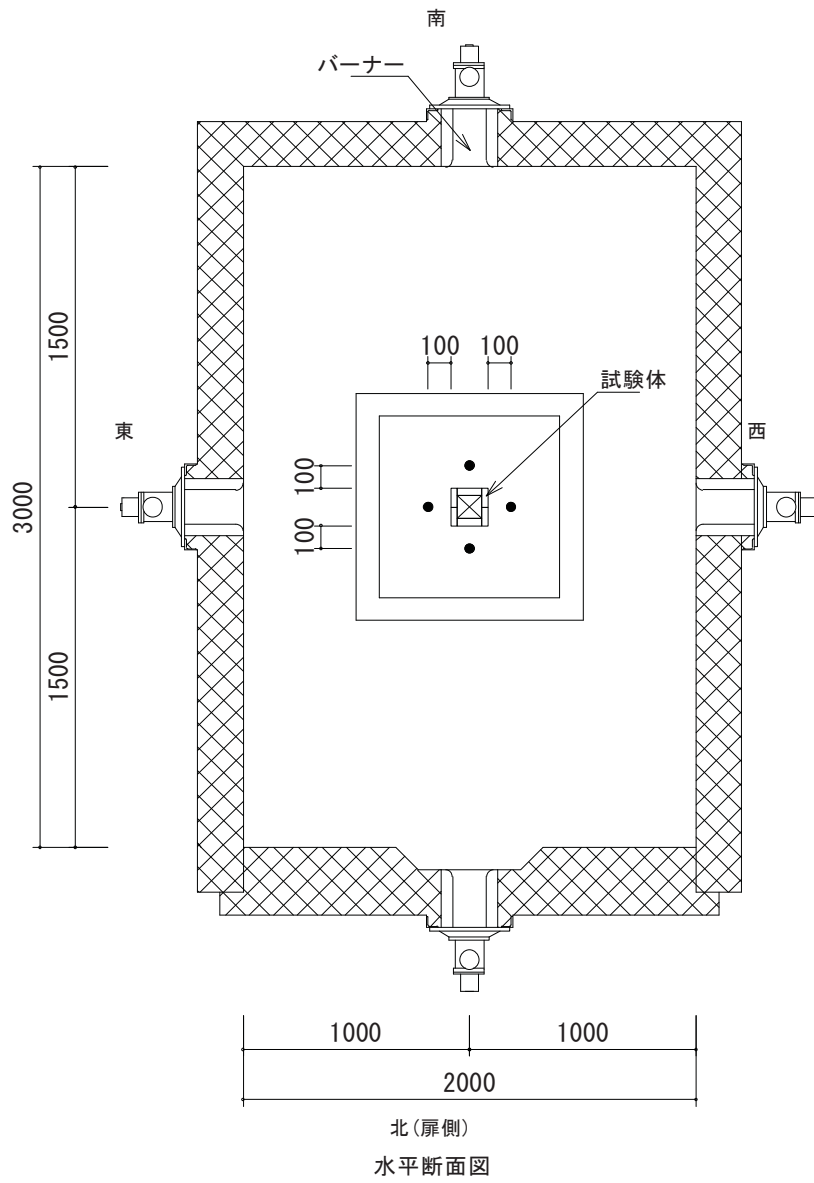
- 凡 例
- 印 : 加熱温度測定位置(16点)
 - DG1, DG2 : 軸方向収縮量測定位置

図 3. 3. 3-2 炉内配置図 (水平断面) (C-1)



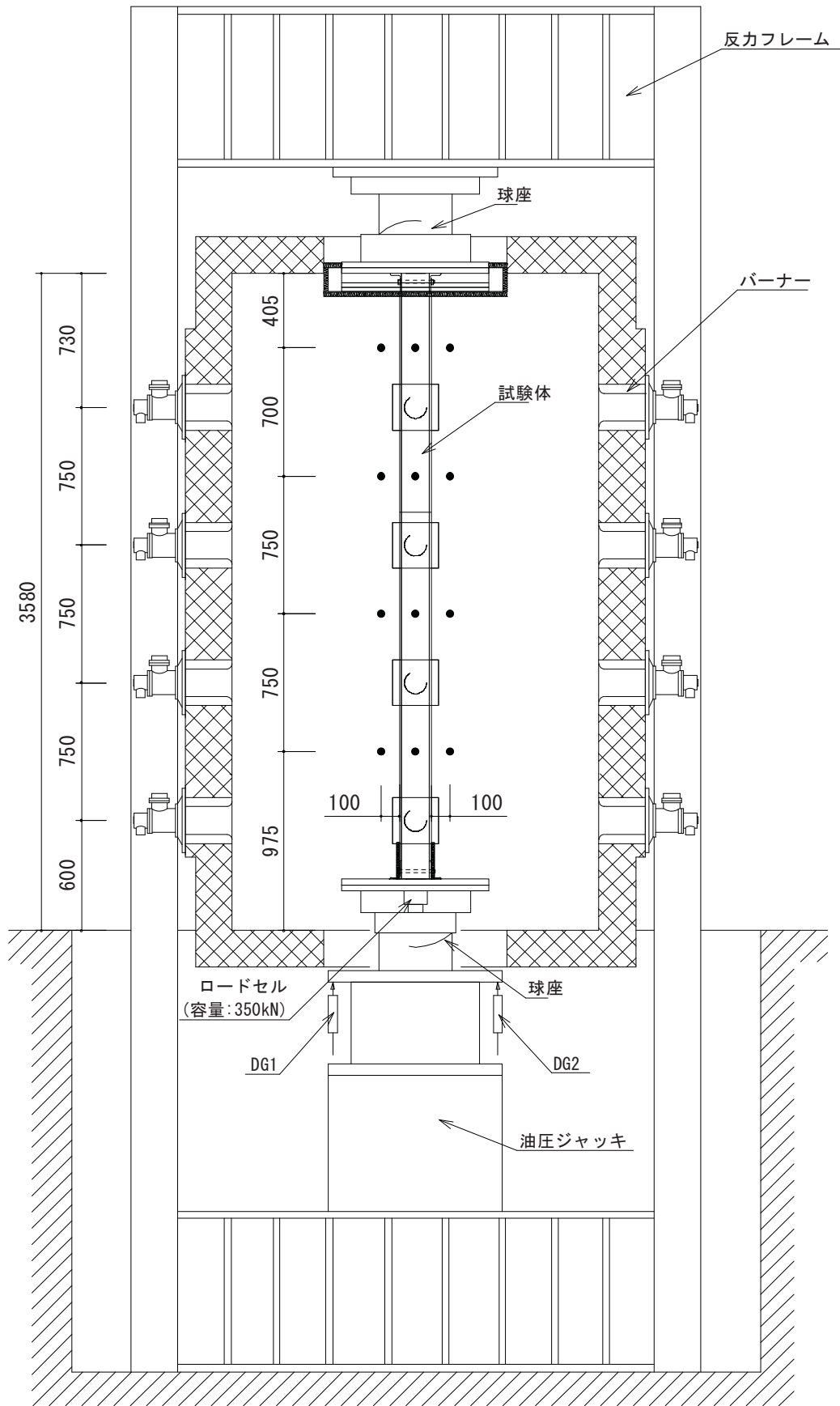
鉛直断面図

図 3.3.3-3 炉内配置図 (鉛直断面) (C-2)



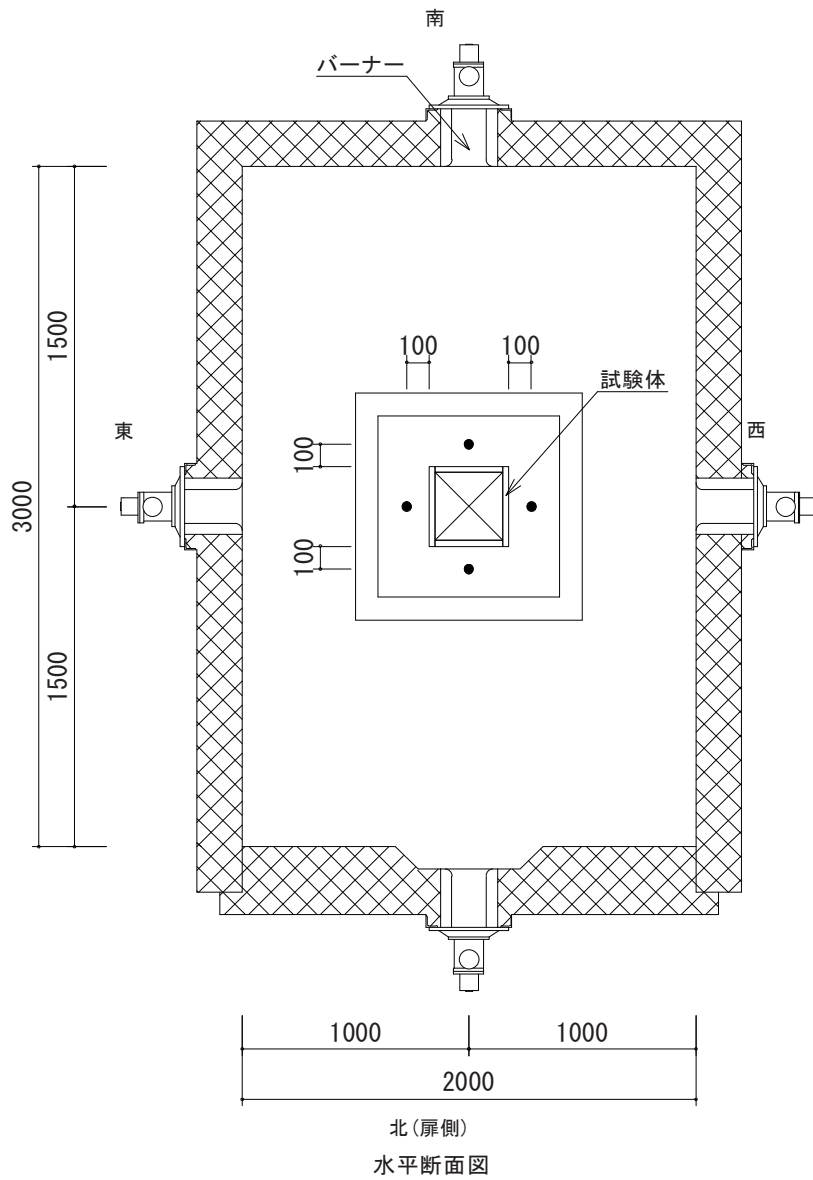
- 凡 例
- 印 : 加熱温度測定位置 (16点)
 - DG1, DG2 : 軸方向収縮量測定位置

図 3. 3. 3-4 炉内配置図 (水平断面) (C-1)



鉛直断面図

図 3.3.3-5 炉内配置図 (鉛直断面) (C-3)



- 凡 例
- 印 : 加熱温度測定位置(16点)
 - DG1, DG2 : 軸方向収縮量測定位置

図 3. 3. 3-6 炉内配置図 (水平断面) (C-3)

表 3.3.3-2 試験荷重の計算 (試験体記号 C-1, C-2)

| |
|--|
| <p>1) 柱の材質</p> <ul style="list-style-type: none"> ・種類 : 同一等級構成構造用集成材 ・基準強度 : E 6 5 - F 2 5 5 ・樹種 : スギ ・圧縮基準強度 F_c : 2 0 . 6 (N/mm²) |
| <p>2) 柱の断面寸法及び材長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断面寸法 : 1 0 5 × 1 0 5 (mm) ・断面積 : 1 1 0 2 5 (mm²) ・断面二次半径 i : $\frac{1 0 5}{\sqrt{1 2}} \doteq 3 0 . 3 1$ ・座屈長さ l_k : 3 3 0 0 (mm) ・有効細長比 λ : $\frac{l_k}{i} = \frac{3 3 0 0}{3 0 . 3 1} \doteq 1 0 8 . 8 7$ |
| <p>3) 柱の短期許容応力度は、平成 1 3 年国土交通省告示第 1 0 2 4 号の第一に定められる木材の圧縮材の座屈の許容応力度より、以下のように求められる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ $\lambda \leq 3 0$ の場合 $\frac{2}{3} F_c$ ・ $3 0 < \lambda \leq 1 0 0$ の場合 $\frac{2}{3} (1 . 3 - 0 . 0 1 \lambda) F_c$ ・ $\lambda > 1 0 0$ の場合 $\frac{2 . 3 0 0 0}{3 \lambda^2} F_c$ <p>$\lambda > 1 0 0$ であるから、</p> $\begin{aligned} \text{短期許容応力度} &= \frac{2 . 3 0 0 0}{3 \lambda^2} F_c \\ &= \frac{2 . 3 0 0 0}{3 \cdot 1 0 8 . 8 7^2} \times 2 0 . 6 \\ &\doteq 3 . 4 8 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$ |
| <p>4) 試験荷重 $P =$ 短期許容応力度 \times 柱の断面積</p> $\begin{aligned} &= 3 . 4 8 \times 1 1 0 2 5 \\ &= 3 8 3 6 7 \text{ (N)} \\ &\doteq 3 8 . 4 \text{ (kN)} \end{aligned}$ |

表 3.3.3-3 試験荷重の計算 (試験体記号 C-3)

| | |
|---|---|
| 1) 柱の材質 | |
| ・種類 | : 同一等級構成構造用集成材 |
| ・基準強度 | : E 6 5 - F 2 5 5 |
| ・樹種 | : スギ |
| ・圧縮基準強度 F_c | : 20.6 (N/mm ²) ※ |
| | ※ヤング係数 (実測値) より, E 7 5 - F 2 7 0 相当の基準強度 (22.3 N/mm ²) とする。 |
| 2) 柱の断面寸法及び材長 | |
| ・断面寸法 | : 96 × 96 (mm) ※ (支持部材断面: 150 × 150 mm) |
| ・断面積 | : 9216 (mm ²) |
| ・断面二次半径 i | : $\frac{96}{\sqrt{12}} \doteq 27.71$ |
| ・座屈長さ l_k | : 3300 (mm) |
| ・有効細長比 λ | : $\frac{l_k}{i} = \frac{3300}{27.71} \doteq 119.1$ |
| | ※周囲の燃え代相当厚さ 27mm (150 - 27 - 27 = 96mm) を差引いた断面とした。 |
| 3) 柱の短期許容応力度は, 平成13年国土交通省告示第1024号の第一に定められる木材の圧縮材の座屈の許容応力度より, 以下のように求められる。 | |
| ・ $\lambda \leq 30$ の場合 | $\frac{2}{3} F_c$ |
| ・ $30 < \lambda \leq 100$ の場合 | $\frac{2}{3} (1.3 - 0.01\lambda) F_c$ |
| ・ $\lambda > 100$ の場合 | $\frac{2}{3} \cdot \frac{3000}{\lambda^2} F_c$ |
| | } |
| $\lambda > 100$ であるから, | |
| 短期許容応力度 = $\frac{2}{3} \cdot \frac{3000}{\lambda^2} F_c$ | |
| = $\frac{2}{3} \times \frac{3000}{119.1^2} \times 22.3$ | |
| = 3.15 (N/mm ²) | |
| 4) 試験荷重 $P =$ 短期許容応力度 × 柱の断面積 | |
| = 3.15 × 9216 | |
| = 29030.4 (N) | |
| = 29.1 (kN) | |

3. 3. 4 実験結果及び考察

以降に、(1) 実験経過観察、(2) 炉内・試験体各部温度・変位量推移、(3) 炭化性状、(4) 考察を記載する。

(1) 実験経過観察

実験開始から終了までの観察記録を表 3. 3. 4-1, 2 に、記録写真を写真 3. 3. 4-1～30 に示す。C-1 は加熱開始約 5 分後から一部炭化片が脱落するも、約 56 分後まで木材被覆は脱落しなかった。しかしその後、63 分 46 秒で柱の座屈を確認したため、加熱を終了した後、脱炉し継続的に約 5 分間の放水を行った。また C-2 は、加熱開始約 9 分後から被覆材の炭化片が部分的に脱落し始め、35 分 30 秒後には木材被覆材が脱落し始めた。その後は、45 分 32 秒で座屈を確認したため、加熱を終了し、継続的に約 3 分間の放水を行った。一方 C-3 は、加熱開始 7 分後よりせっこうボードの熱収縮が始まり、幅方向に大きな横亀裂が多数生じた後、約 24 分後には部分的に脱落し始めた。その後、約 37 分後に荷重支持部材の炭化片が部分的に脱落した後、53 分 15 秒後に柱の座屈を確認した。その後は、53 分 30 秒後に加熱を終了し、3 分間の放水を行った。

表 3. 3. 4-1 観察記録 (C-1)

| C-1 | | | |
|---------|-------------------------------------|---------|--------------|
| 経過時間 | 加熱面 変化内容 | 経過時間 | 非加熱面 変化内容 |
| 0:00:00 | 着火 | | |
| 0:04:50 | 被覆材の表面に細かい亀裂が生じ始める | | |
| 0:08:30 | 被覆材の縦目地が開き始める | | |
| 0:10:00 | 被覆材表面の亀裂幅が広がり始める | | |
| 0:13:30 | 被覆材隅角部において細かい炭化片が飛散 | | |
| 0:29:00 | 被覆材の縦目地幅が広がり始める | | |
| 0:45:00 | 被覆材の脱落無し | | |
| 0:54:30 | 被覆材が部分的に浮き始める | | |
| 0:56:50 | 被覆材が部分的に脱落し始め、 以後、加熱終了まで断続的に脱落する | | |
| 1:03:46 | 座屈 | | |
| 1:03:50 | 消火 | | |
| | | 1:05:30 | 脱炉 |
| | | 1:06:00 | 放水開始 |
| | | 1:11:00 | 放水完了 |

表 3.3.4-2 観察記録（上段：C-2, 下段 C-3）

| C-2 | | | |
|---------|--|---------|------|
| 経過時間 | 加熱面 | 経過時間 | 非加熱面 |
| | 変化内容 | | 変化内容 |
| 0:00:00 | 着火 | | |
| 0:03:30 | 被覆材の表面に細かい亀裂が生じ始める | | |
| 0:08:00 | 被覆材の縦目地、横目地が開き始める | | |
| 0:09:00 | 被覆材隅角部において細かい炭化片が飛散 | | |
| 0:16:30 | 被覆材の炭化片が部分的に脱落し始める | | |
| 0:20:00 | 被覆材が一部浮き始める | | |
| 0:35:30 | 被覆材が部分的に大きく浮き上がり、 以後、加熱終了まで断続的に脱落する | | |
| 0:45:32 | 座屈 | | |
| 0:45:40 | 消火 | | |
| | | 0:46:30 | 脱炉 |
| | | 0:47:00 | 放水開始 |
| | | 0:50:00 | 放水完了 |
| | | | |
| | | | |

| C-3 | | | |
|---------|---|---------|------|
| 経過時間 | 加熱面 | 経過時間 | 非加熱面 |
| | 変化内容 | | 変化内容 |
| 0:00:00 | 着火 | | |
| 0:03:00 | 被覆材の表面が変色し始める | | |
| 0:07:30 | 被覆材が熱収縮で変形し始める | | |
| 0:15:30 | 被覆材の目地部が開き始める 留付材周辺に亀裂が多数入り始める | | |
| 0:16:00 | 被覆材全面に亀裂が生じ始める (被覆材幅方向に大きな亀裂が多数発生) | | |
| 0:23:35 | 被覆材の下部において部分的に脱落し始める 以後、加熱終了まで断続的に脱落する | | |
| 0:37:30 | 荷重支持部材の炭化片が一部脱落する | | |
| 0:53:15 | 座屈 | | |
| 0:53:30 | 消火 | | |
| | | 0:55:00 | 脱炉 |
| | | 0:55:30 | 放水開始 |
| | | 0:58:30 | 放水完了 |
| | | | |
| | | | |

記録写真 (C-1)

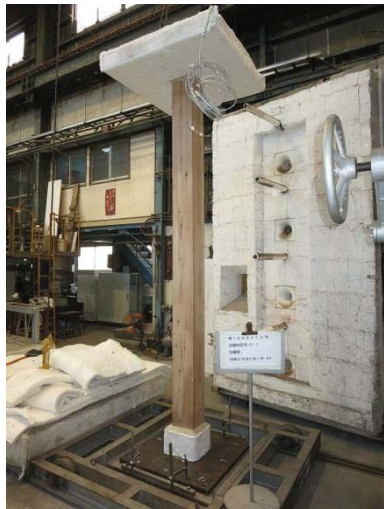


写真 3.3.4-1 加熱前試験体全景



写真 3.3.4-2 加熱前炉内配置



写真 3.3.4-3 加熱開始 10 分

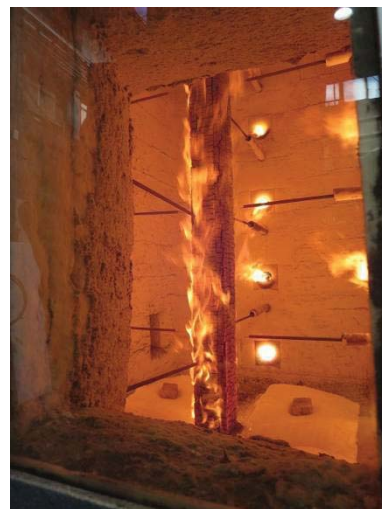


写真 3.3.4-4 加熱開始 20 分

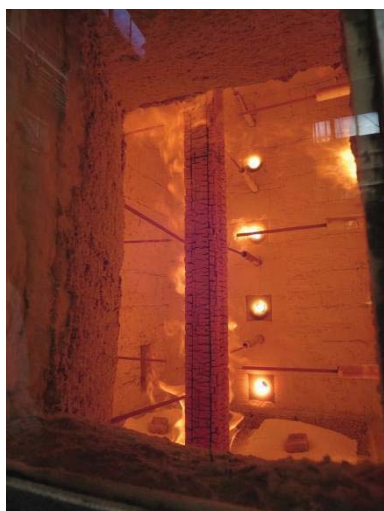


写真 3.3.4-5 加熱開始 30 分

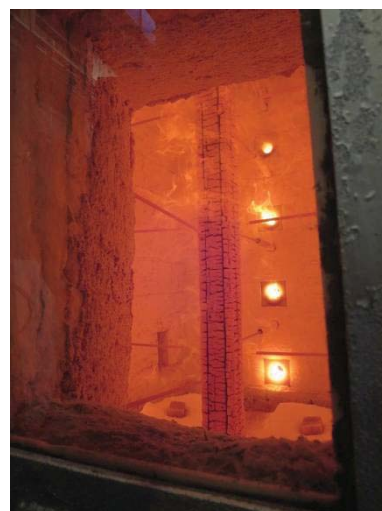


写真 3.3.4-6 加熱開始 40 分



写真 3.3.4-7 加熱開始 50 分



写真 3.3.4-8 加熱開始 60 分



写真 3.3.4-9 加熱開始 63 分 15 秒
(座屈開始直前)



写真 3.3.4-10 加熱終了直後



写真 3.3.4-11 加熱終了後 (消火後)

記録写真 (C-2)



写真 3.3.4-12 加熱前試験体全



写真 3.3.4-13 加熱前炉内配置

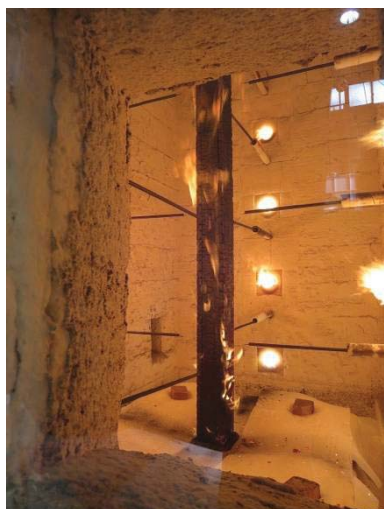


写真 3.3.4-14 加熱開始 10 分



写真 3.3.4-15 加熱開始 20 分



写真 3.3.4-16 加熱開始 30 分



写真 3.3.4-17 加熱開始 40 分



写真 3.3.4-18 加熱開始 45 分
(座屈直前)



写真 3.3.4-19 加熱終了直後



写真 3.3.4-20 試験終了後 (消火後)

記録写真 (C-3)



写真 3.3.4-21 加熱前試験体全景



写真 3.3.4-22 加熱前炉内配置

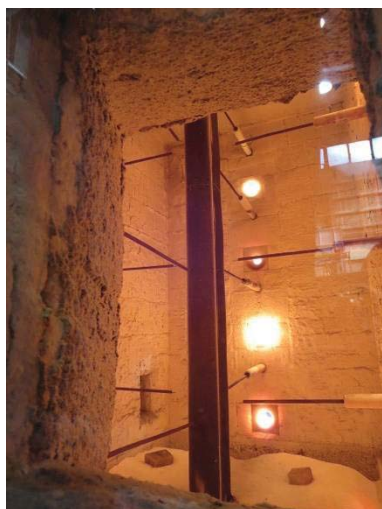


写真 3.3.4-23 加熱開始 10 分



写真 3.3.4-24 加熱開始 20 分



写真 3.3.4-25 加熱開始 30 分



写真 3.3.4-26 加熱開始 40 分



写真 3.3.4-27 加熱開始 50 分



写真 3.3.4-28 加熱開始 52 分 20 秒
(座屈直前)



写真 3.3.4-29 加熱終了直後



写真 3.3.4-30 加熱終了後 (消火後)

(2) 炉内・試験体各部温度・変位量推移

図 3.3.4-1~10 に、C-1, 2, 3 の加熱温度推移、荷重・軸方向収縮量推移及び内部温度推移を示す。

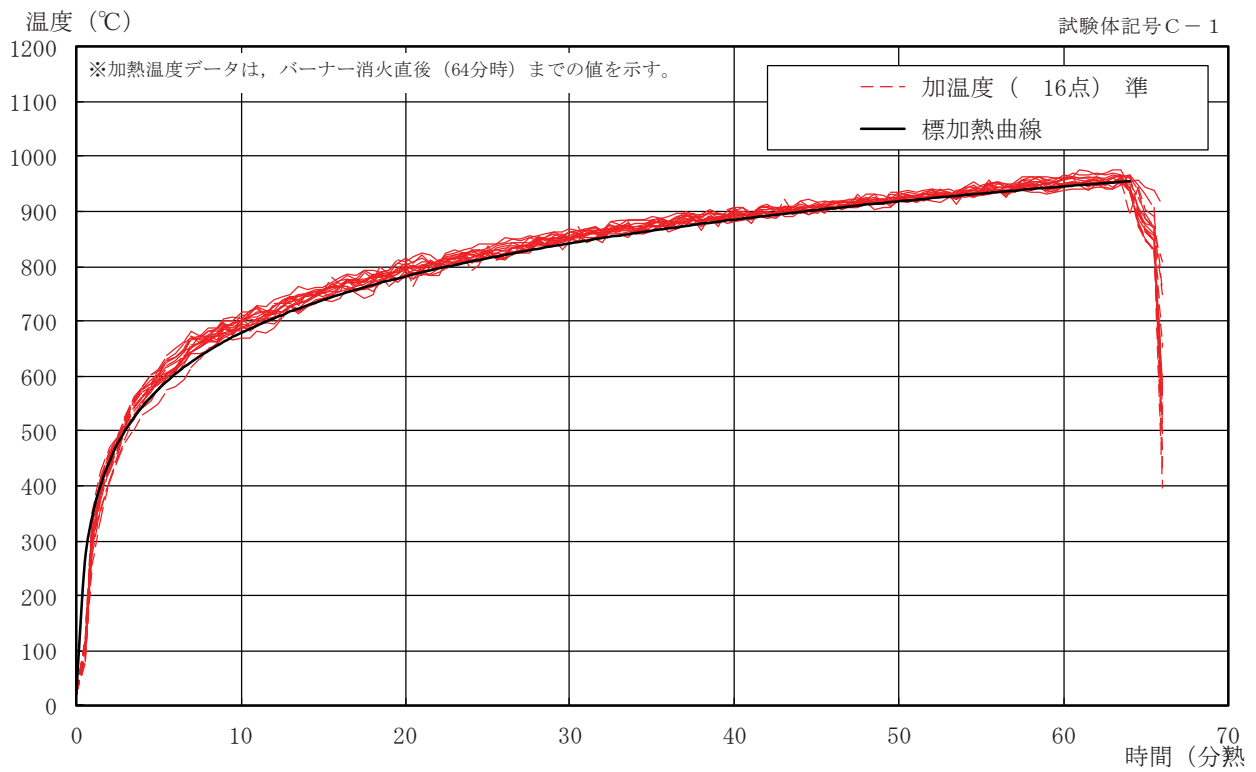


図 3.3.4-1 加熱温度推移(C-1)

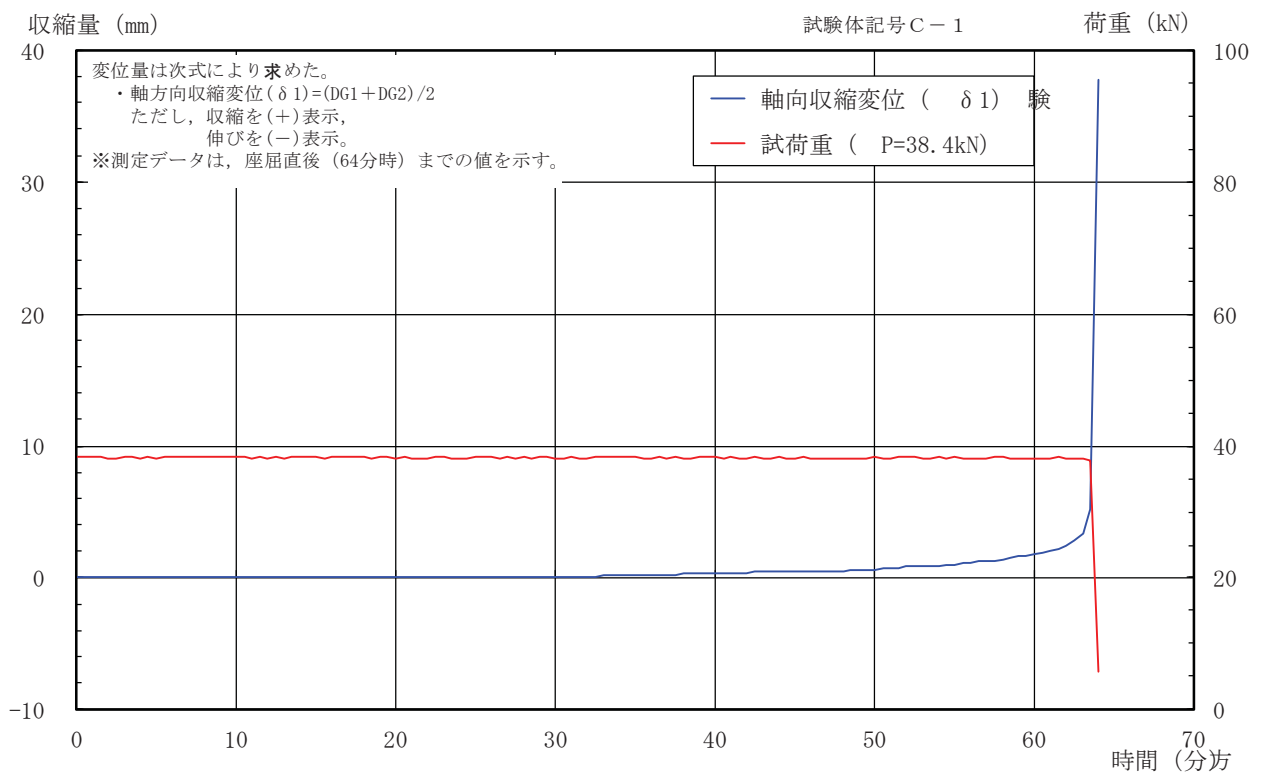


図 3.3.4-2 荷重・軸方向収縮量推移(C-1)

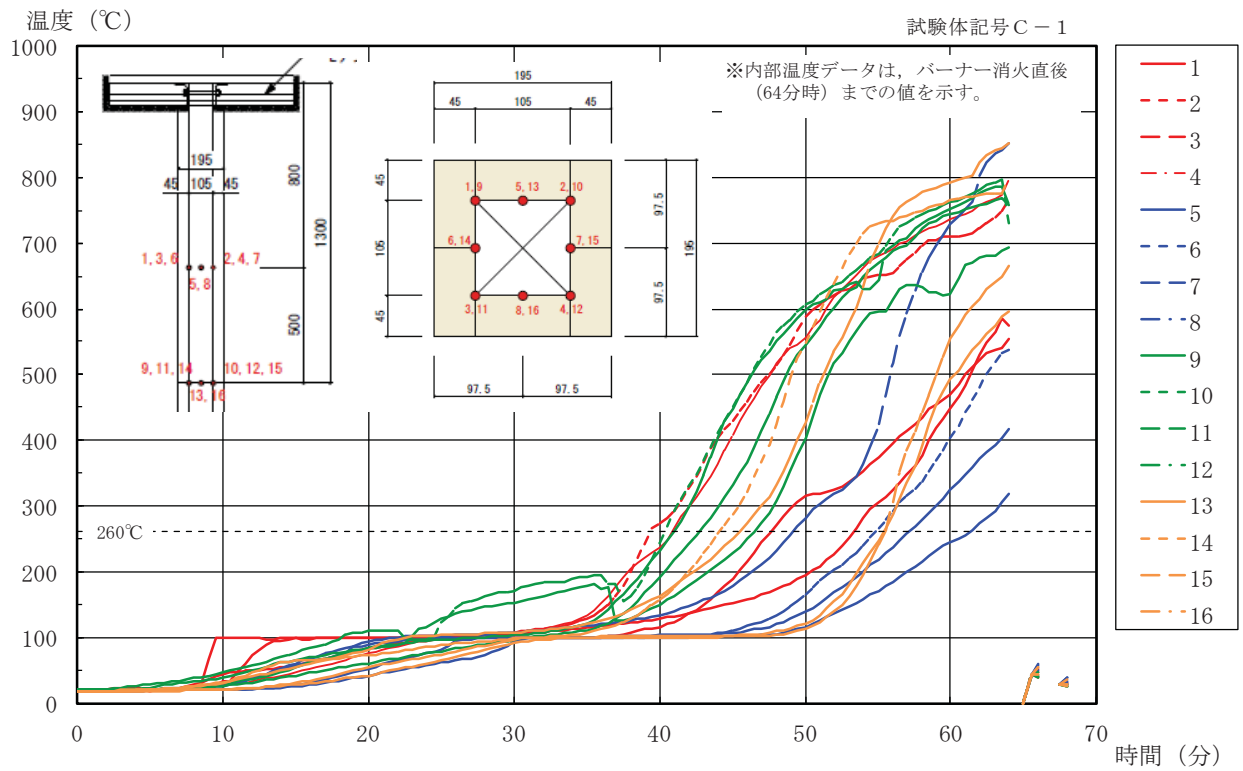


図 3.3.4-3 内部温度推移 (C-1)

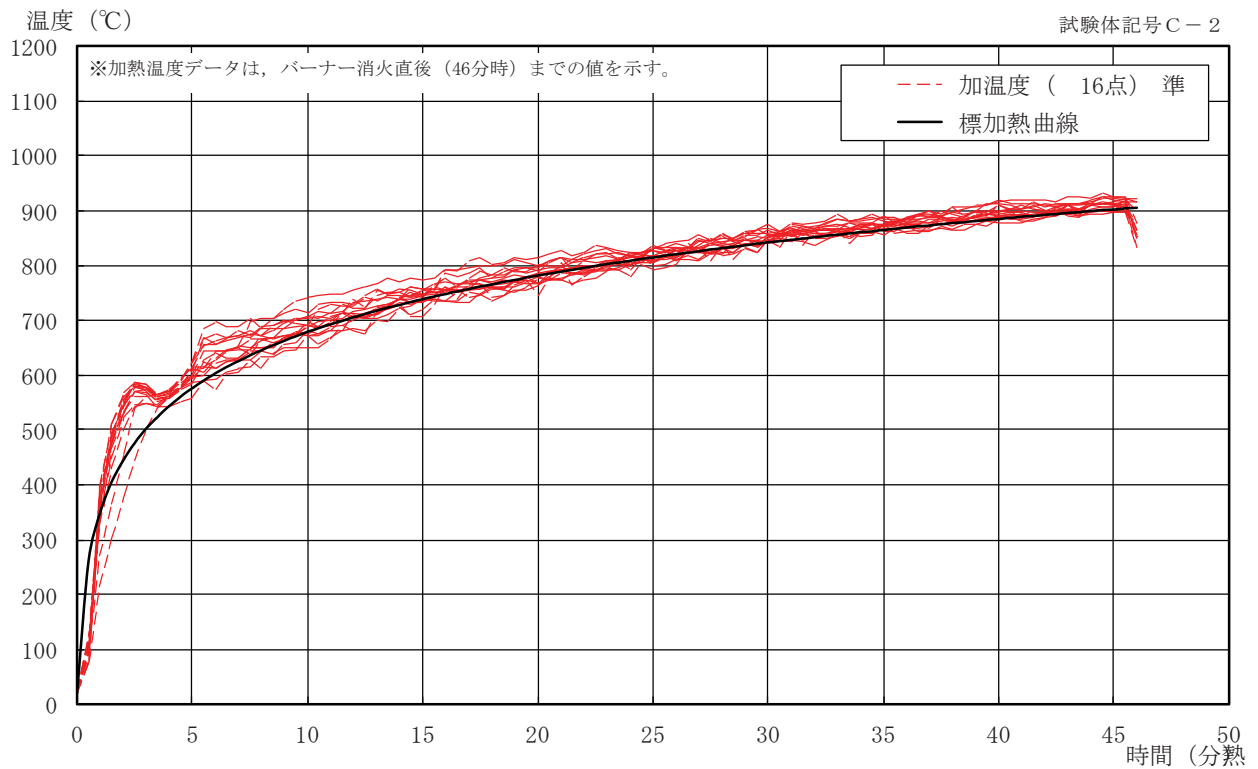


図 3.3.4-4 加熱温度推移 (C-2)

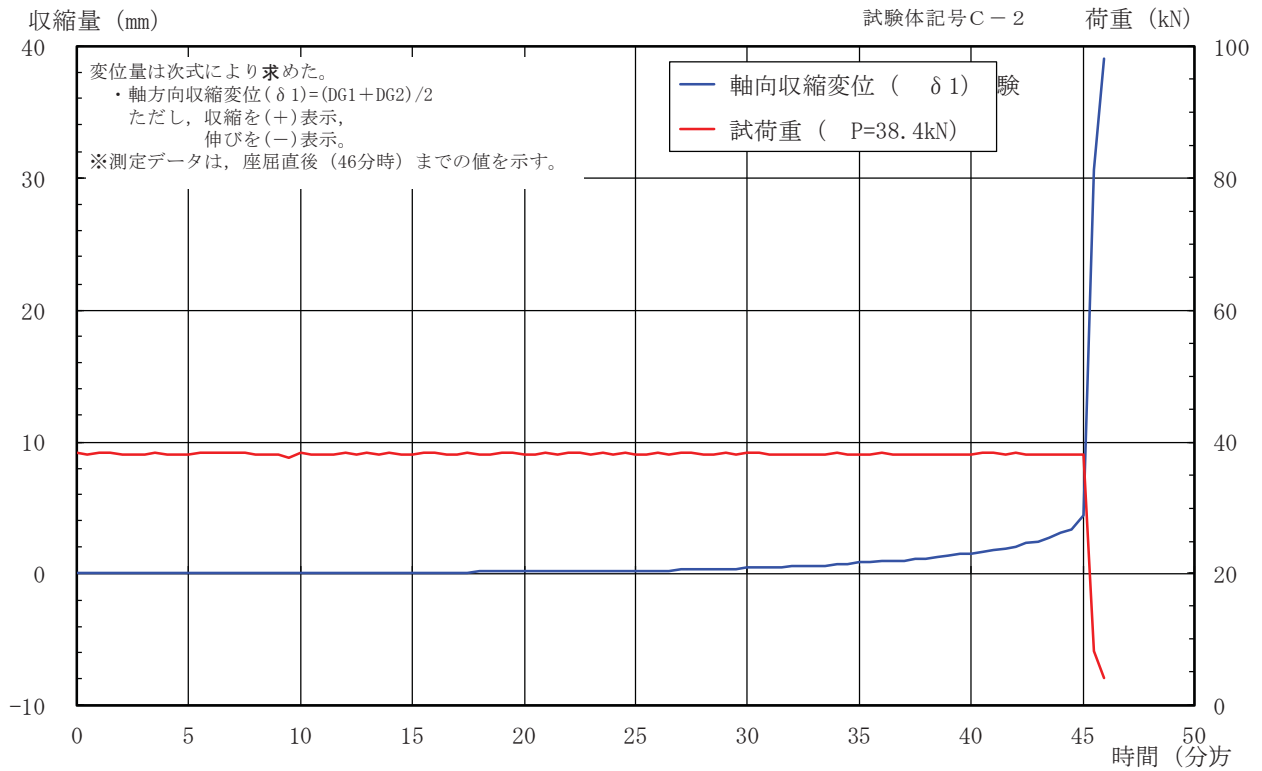


図 3.3.4-5 荷重・軸方向収縮量推移(C-2)

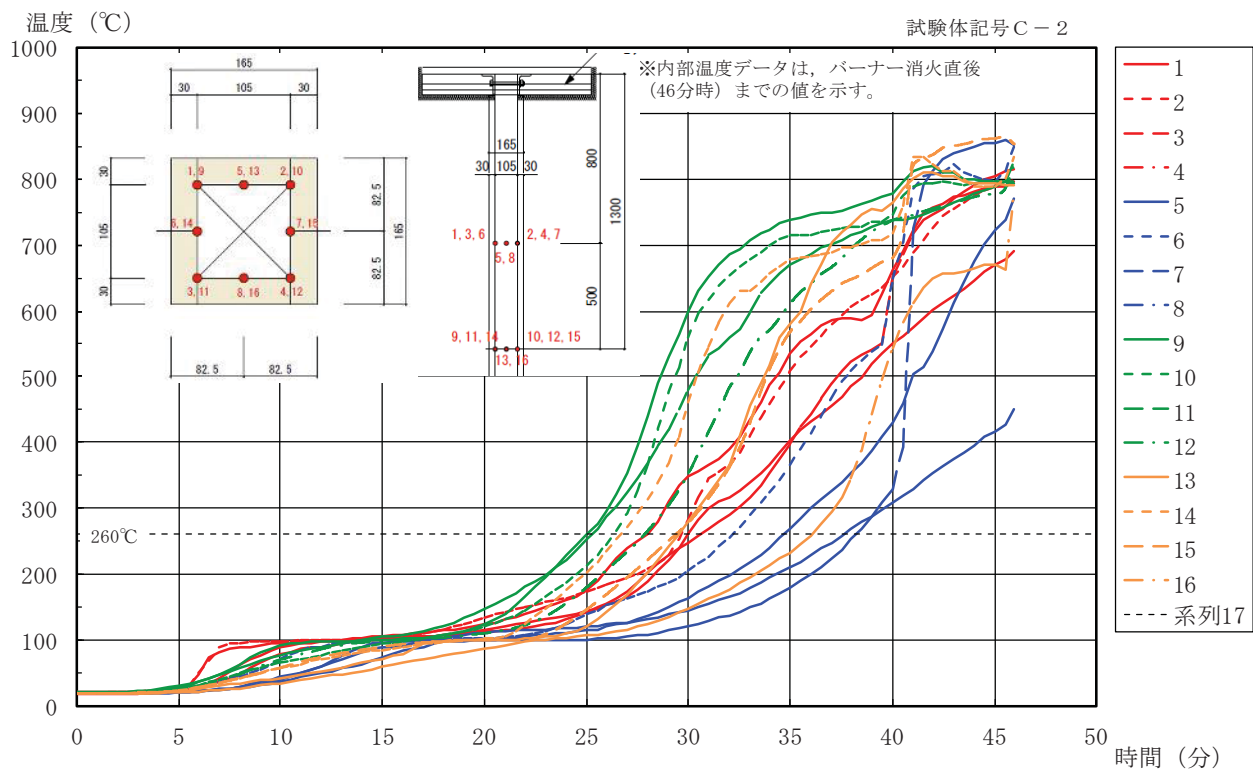


図 3.3.4-6 内部温度推移(C-2)

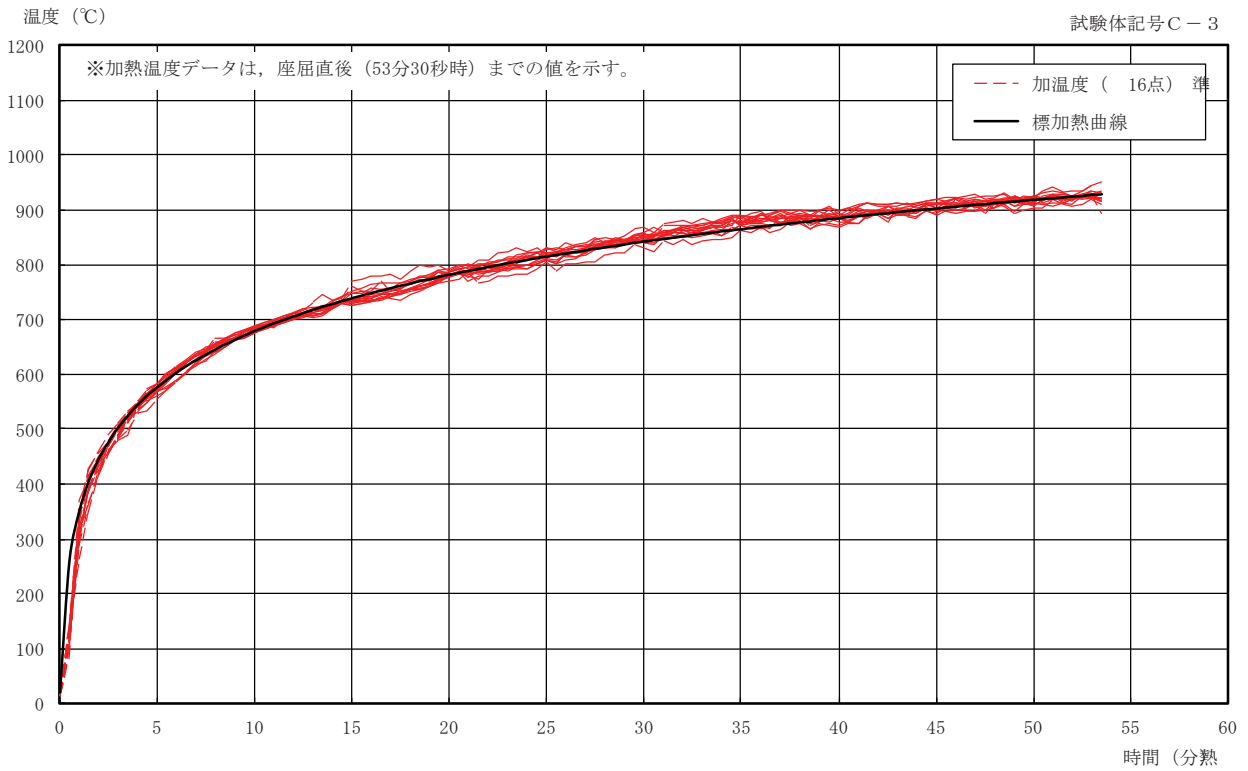


図 3. 3. 4-7 加熱温度推移 (C-3)

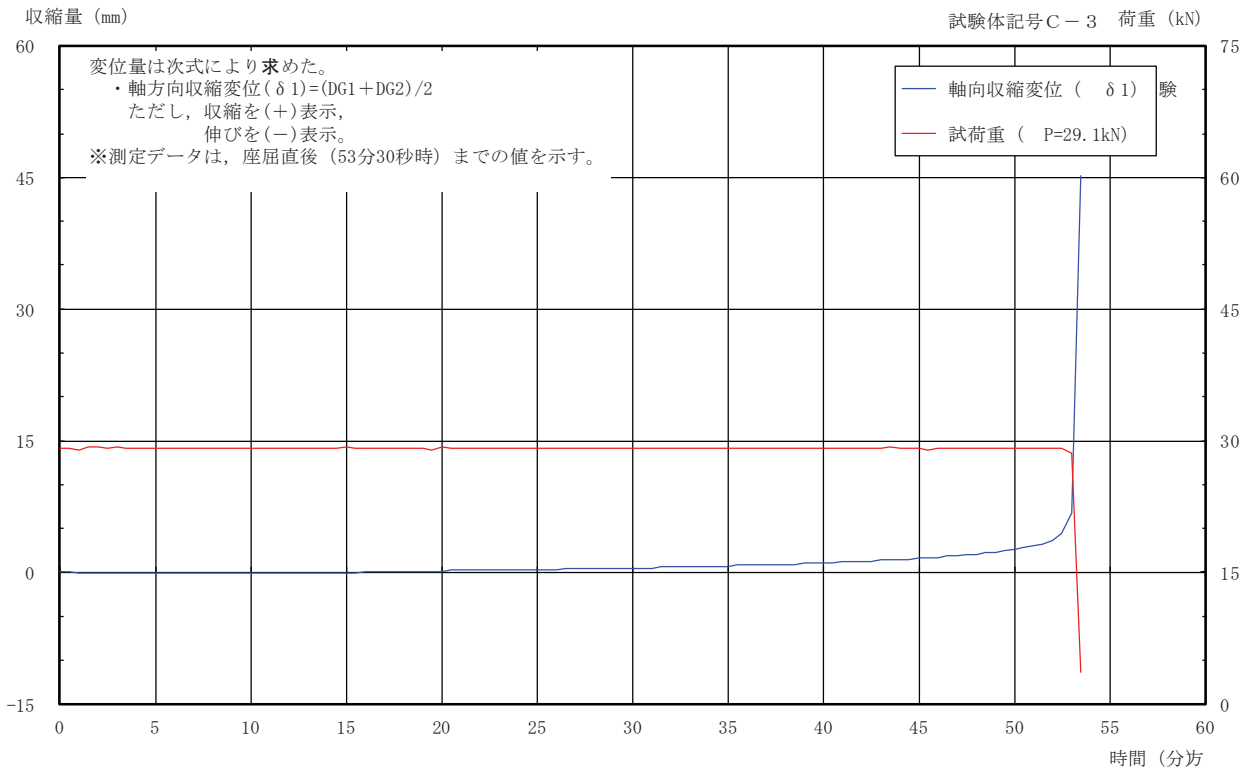


図 3. 3. 4-8 荷重・軸方向収縮量推移 (C-3)

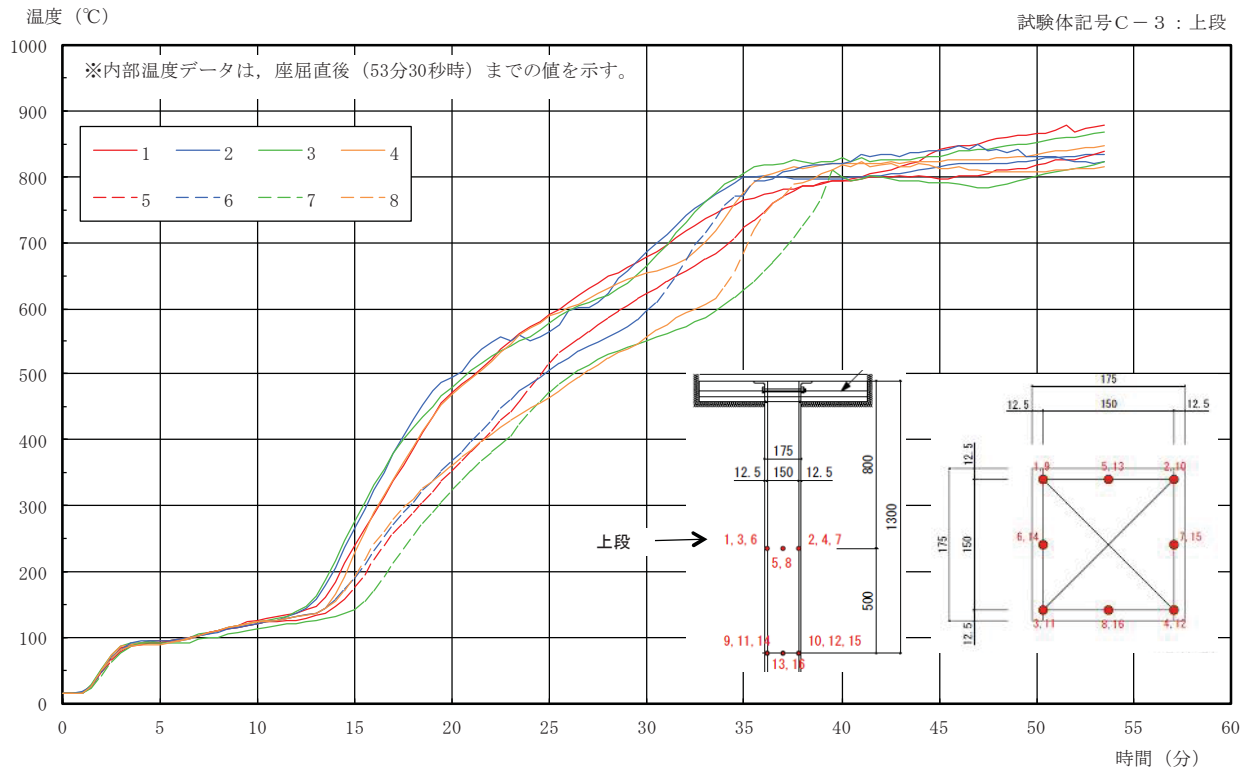


図 3.3.4-9 内部温度推移(試験体上部) (C-3)

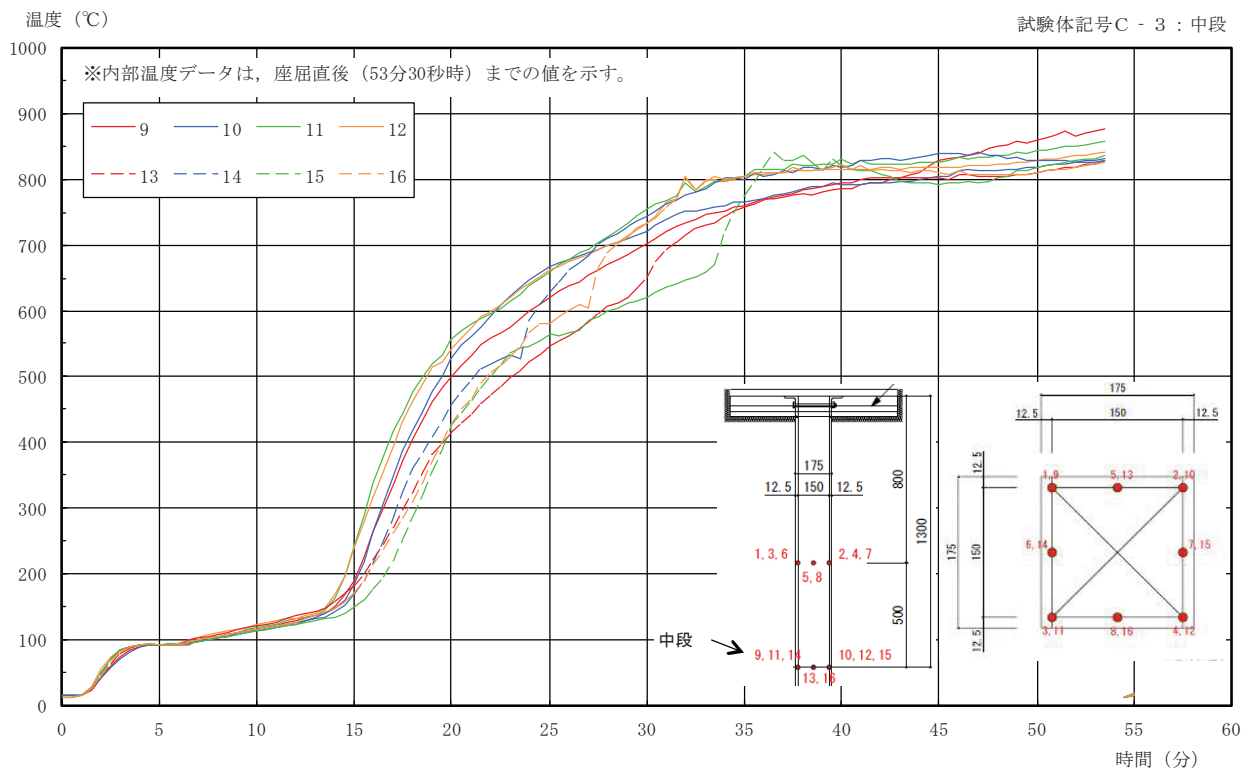


図 3.3.4-10 内部温度推移(試験体中部) (C-3)

(3) 炭化性状

図 3.3.4-11~16 に、C-1, 2, 3 の炭化サンプル採取位置及び炭化図、写真 3.3.4-31~39 に炭化サンプルの写真を示す。

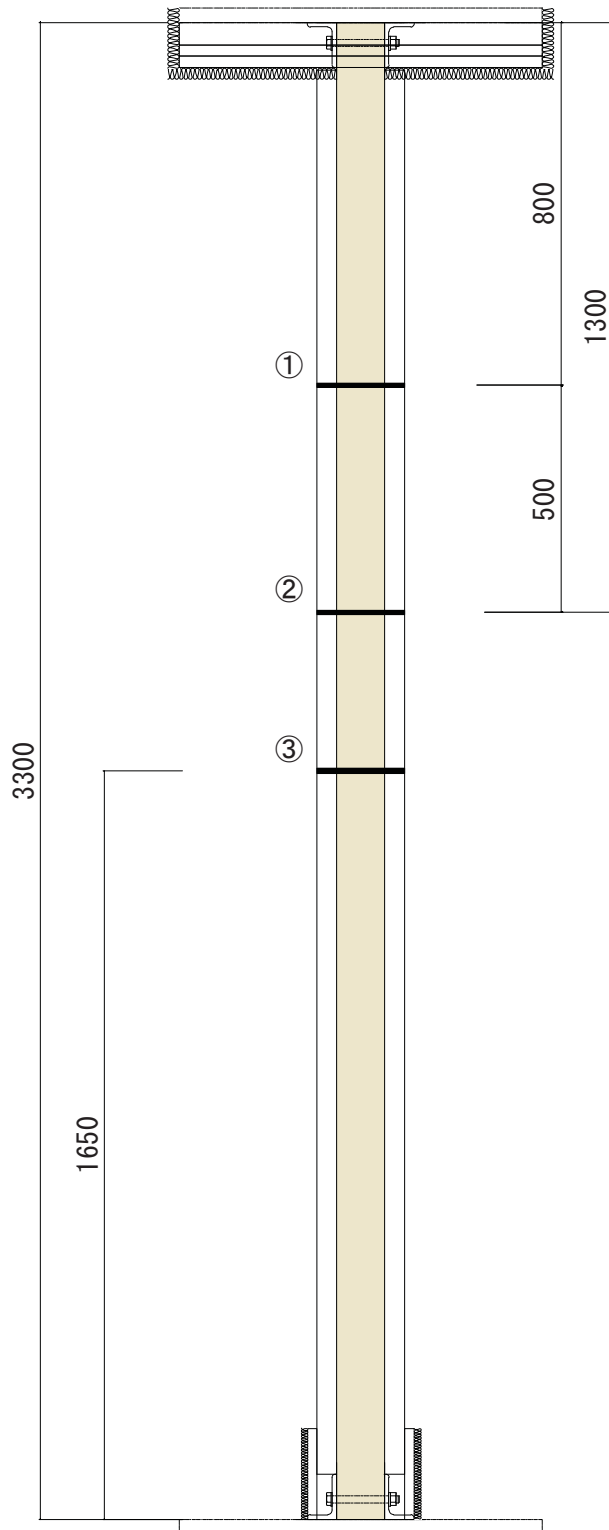
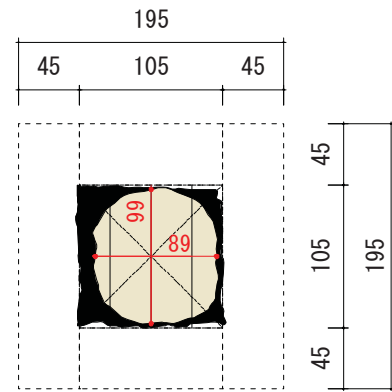
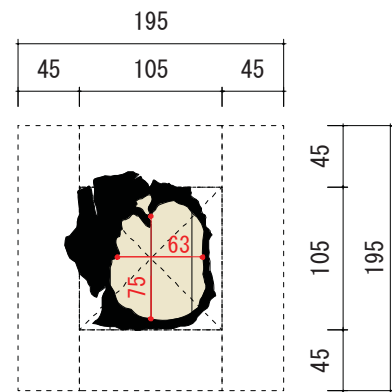


図 3.3.4-11 炭化サンプル採取位置(C-1)

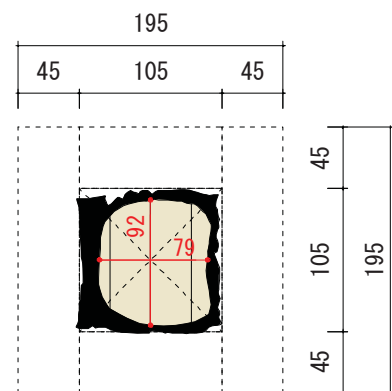
[北]



①試験体上部温度計測位置



②試験体中部温度計測位置
(被覆材継手・座屈箇所)



[南]

③試験体中央部

図 3.3.4-12 炭化図(C-1)

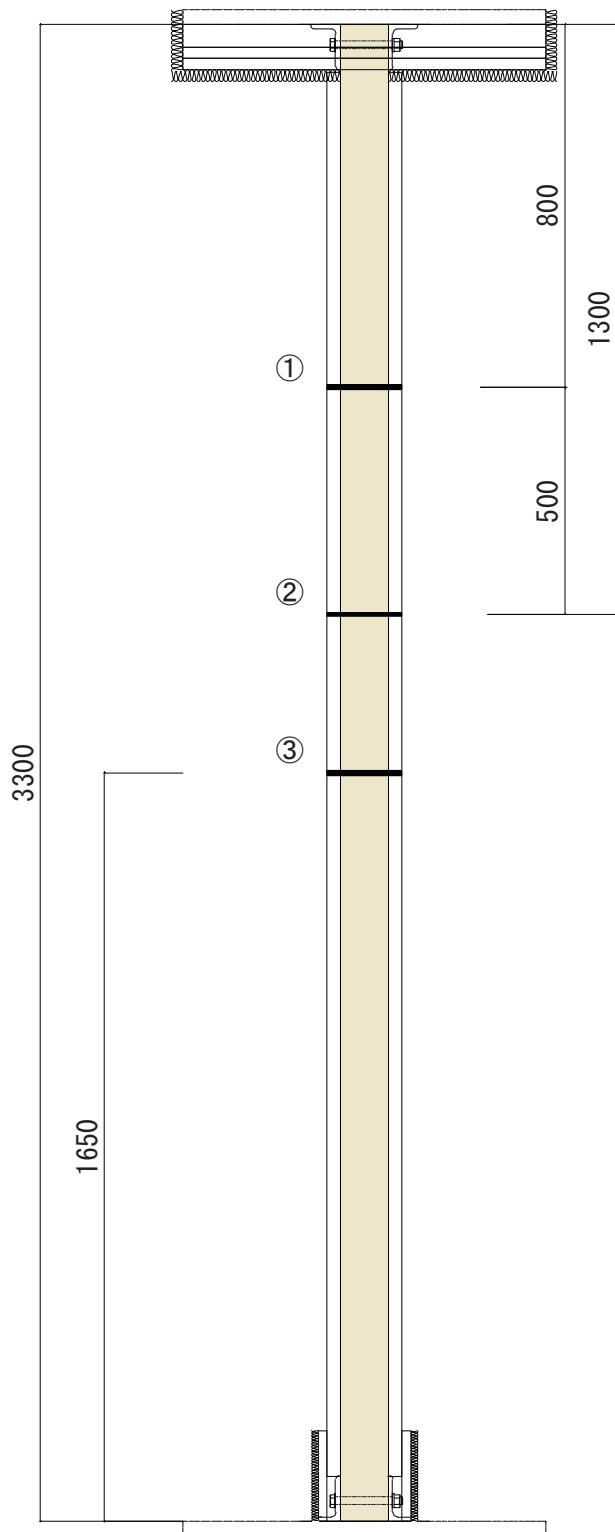


図 3.3.4-13 炭化サンプル採取位置(C-2)

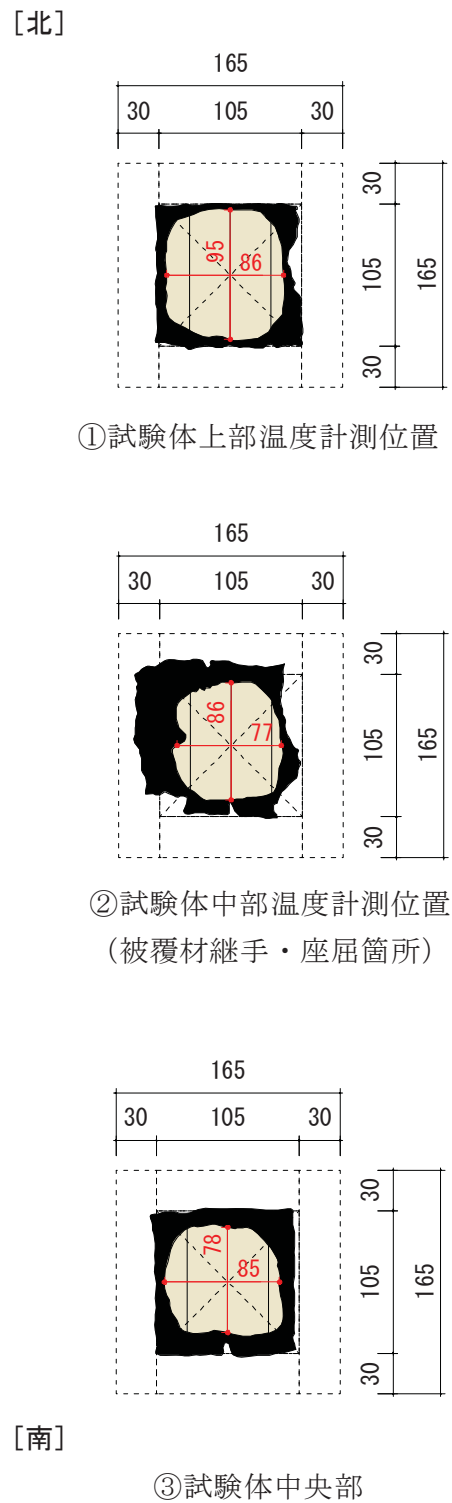


図 3.3.4-14 炭化図(C-2)

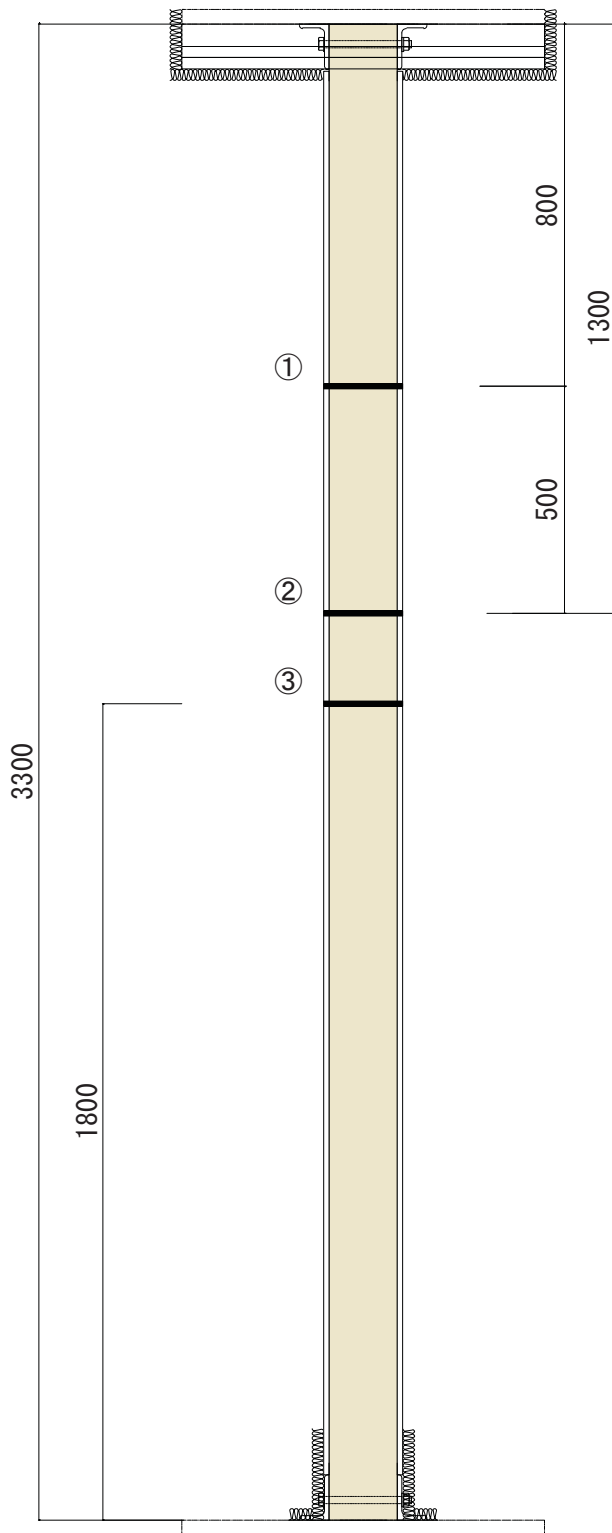
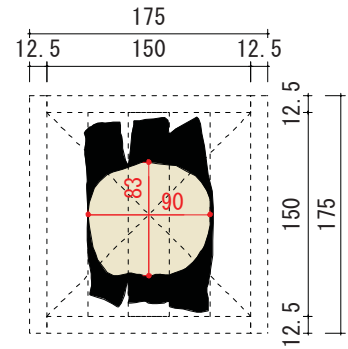
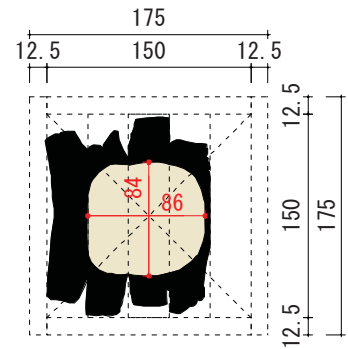


図 3.3.4-15 炭化サンプル採取位置(C-3)

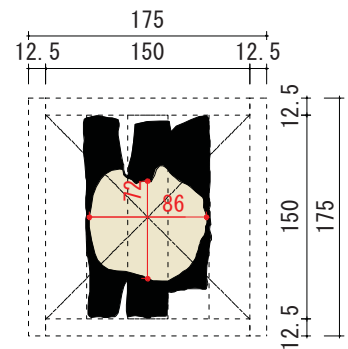
[北]



①試験体上部温度計測位置



②試験体中部温度計測位置



[南]

③座屈箇所
(下端より 1800mm)

図 3.3.4-16 炭化図(C-3)



写真 3. 3. 4-31 炭化状況 (C-1)



写真 3. 3. 4-32 炭化状況 (C-1)



写真 3. 3. 4-33 炭化状況 (C-1)



写真 3. 3. 4-34 炭化状況 (C-2)



写真 3. 3. 4-35 炭化状況写真 (C-2)



写真 3. 3. 4-36 炭化状況 (C-2)



写真 3. 3. 4-37 炭化状況 (C-3)



写真 3. 3. 4-38 炭化状況 (C-3)



写真 3. 3. 4-39 炭化状況 (C-3)

(4) 考察

本実験の各試験体における防火被覆の効果について下記の通り考察する。

1) C-1(木材被覆 45mm 厚)

集成材柱表面の 260℃到達時間一覧を表 3.3.4-3 に示す。実験の結果、C-1 は目標性能 60 分に対し、63 分 46 秒の非損傷性を確保した。集成材柱表面の 260℃到達時間は、はり側面被覆材裏面（以後、一般部と呼ぶ）で 44 分 30 秒、はり下側隅角部被覆材裏面（以後、隅角部と呼ぶ）で 39 分 30 秒となった。小型の比較実験（3 章 1 節）T3 の一般部（側面）43 分 55 秒、隅角部で 37 分 5 秒と比べ、ほぼ同程度の結果となった。これにより、留付間隔の違い（C-1 は留付間隔 500mm、T3 は 200mm）による防耐火性能への影響は小さいと考えられる。

表 3.3.4-3 260℃到達時間一覧（C-1）

| 計測位置 | 試験体上部(上端より-800mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|------|------|----|------|------|------|------|
| | 隅角部 | | | | 一般部 | | | |
| 熱電対番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 260℃到達時間 [分] | 48 | 39.5 | 53.5 | 41 | 57.5 | 55 | 49.5 | 61.5 |
| 計測位置 | 試験体中部(上端より-1300mm) | | | | | | | |
| | 隅角部 | | | | 一般部 | | | |
| 熱電対番号 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 260℃到達時間 [分] | 46.5 | 40.5 | 43 | 41 | 55.5 | 44.5 | 45.5 | 55.5 |

2) C-2(木材被覆 30mm 厚)

集成材柱表面の 260℃到達時間の一覧を表 3.3.4-4 に示す。実験の結果、C-2 は目標性能 45 分に対し、45 分 30 秒の非損傷性を確保した。集成材柱表面の 260℃到達時間は、一般部で 27 分、隅角部で 25 分となった。小型の比較実験（3 章 1 節）T5 の一般部（側面）27 分 30 秒、隅角部で 19 分と比べ、一般部はほぼ同程度となり、隅角部では 6 分程度遅れる結果となった。これにより、留付間隔の違い（C-2 は留付間隔 500mm、T5 は 200mm）による防耐火性能への影響は小さいと考えられる。

表 3.3.4-4 260℃到達時間一覧（C-2）

| 計測位置 | 試験体上部(上端より-800mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|------|------|----|------|------|------|------|
| | 隅角部 | | | | 一般部 | | | |
| 熱電対番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 260℃到達時間 [分] | 28 | 30 | 31 | 30 | 35 | 32.5 | 38.5 | 38 |
| 計測位置 | 試験体中部(上端より-1300mm) | | | | | | | |
| | 隅角部 | | | | 一般部 | | | |
| 熱電対番号 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 260℃到達時間 [分] | 25 | 26.5 | 25.5 | 28 | 29.5 | 27 | 29.5 | 36.5 |

また C-1, 2 とともに、実験後の炭化図（図 3. 1. 4-12②, 14②）では、被覆材はほとんど脱落しており、特に被覆材の継手部においては、加熱中の木材被覆の変形・浮きにより柱の燃え込みが比較的大きく、両仕様において座屈箇所となる結果となった。

3) C-3(せっこうボード被覆 12.5mm 厚)

集成材柱表面の 260℃到達時間の一覧を表 3. 3. 4-5 に示す。本実験では、被覆材を不燃材料（せっこうボード 12.5 mm 厚）にすることで、荷重支持部材である集成材柱の燃え込みを 27mm と考え、1 時間準耐火構造を目標性能とした。実験の結果、C-3 は 53 分 15 秒の非損傷性を確保した。集成材柱表面の 260℃到達時間は、一般部で 16 分 30 分、隅角部で 15 分となり、同様にせっこうボード 12.5 mm 厚を被覆材とした小型床の比較実験 KF-2 A-3(留付間隔 200mm)での 260℃到達時間約 34 分、床の実大実験 F-3 での約 25 分、壁の実大実験 W-3 での約 30 分に対し、10~20 分程度早まる結果となった。これは、本実験では加熱開始 7 分後にはせっこうボードの熱収縮が始まり、その後被覆材の変形・浮きが大きくなったことが目視観測で確認されており、それに伴い集成材柱が直接加熱されたことが要因であると考えられる（写真 3. 3. 4-24, 25）。また本実験では、壁の実大実験 W-3 と異なり 4 面加熱であり偏心の影響が小さいことから、被覆材の留付間隔を細かくすることや接着剤を併用すること等により、被覆材の早期変形・浮きを抑制する措置を講じることで防耐火時間を延長できる可能性がある。

- ※ 小型床の比較実験 KF-2 A-3 の詳細については、2 章 1 節を参照
- ※ 床の実大実験 F-3 の詳細については、2 章 3 節を参照
- ※ 壁の実大実験 W-3 の詳細については、2 章 4 節を参照

表 3. 3. 4-5 260℃到達時間一覧 (C-3)

| 計測位置 | 試験体上部(上端より-800mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|----|------|------|------|----|------|------|
| | 隅角部 | | | | 一般部 | | | |
| 熱電対番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 260℃到達時間 [分] | 15.5 | 15 | 15 | 16 | 17.5 | 17 | 18.5 | 16.5 |
| 計測位置 | 試験体中部(上端より-1300mm) | | | | | | | |
| | 隅角部 | | | | 一般部 | | | |
| 熱電対番号 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 260℃到達時間 [分] | 16 | 16 | 15.5 | 15.5 | 17 | 17 | 18 | 17 |

