

特集。生まれかわる『ステンレスシート防水工法』(その2)

住友金属建材(株)建築建材工事営業部 屋根技術グループ長 大八木 亮太郎
同 参 事 市 橋 正 明
同 参 事 山 村 和 敬
屋根工事グループ長 金 子 照 男

前号では「ステンレスシート防水工法」の生い立ちと現状を紹介し、また金属屋根としての位置づけを統計資料から見てきた。そして当社の最近の施工事例から屋根の形状や使用材料の傾向を見てきた。さらに当社の「P&P防水工法」の特長を解説してきた。

そこで、今回は実際に「P&Pステンレス防水工法」を設計する上でポイントとなる「風荷重」「熱伸縮」「要求性能の充足」などについて解説してみたい。

4. 「P&Pステンレス防水工法」の設計

“すぐれた設計とは”と問われたら

意匠的な面は別として、要求スペックと耐用期間にマッチした品質・性能が確保されておりコスト的にも合理性があることと考える。建築は耐用年数が長いので設計は施工と並んで重要な事項である。

材料が腐食して穴があき漏水した、材料が割れた、取り合い部分に不具合があり漏水した、最悪は屋根が飛んでしまったなど。クレーム原因の半分は設計に原因があると言っても過言ではない。

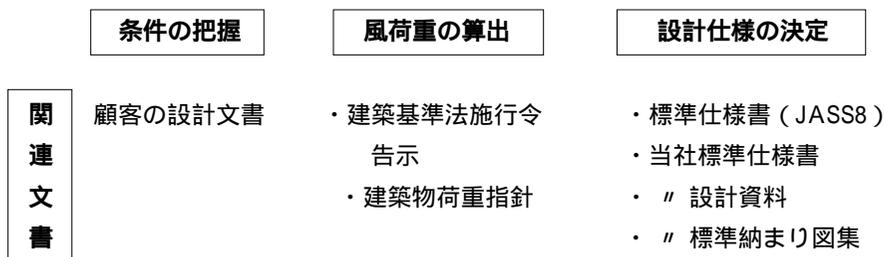
受注の引き合い検討の段階で設計内容に問題点を見いだすことはよくある。既に決定している仕様をコスト増加も含めて見直すことは大変な労力を要する。ややもすれば逸注の憂き目を見るかも知れず、かと言って妥協するのは・・・という場面に遭遇するたびに、初期段階での設計の重要性に思い至るわけである。

4.1 耐風圧力強度

屋根はいろいろな荷重を受けるが、止水性能を維持することはもちろん構造耐力上、経時的な防水材の強度維持も重要である。

昨年6月1日に改正建築基準法施行令・告示が発効した。内容が大幅に変更されており、とまどうことも多かった。改正への対応も踏まえP&P工法の耐風圧力設計の考え方について述べる。

(1) 設計のフロー



(2) 風荷重計算

〔計算に必要なデータ〕

〔決定事項〕

| | |
|-------------------------|------------------------------------------|
| 屋根の形状 | 母屋ピッチ (吊子ピッチ) p (mm) |
| 場所 / 基準風速 V_0 | 面材の働き幅 w (mm) |
| 地域環境 / 地表面粗度区分 | |
| 平均屋根高さ H | 風荷重 W - 3920 N/m^2 $w=455$ |
| 閉鎖系 or 開放系 C_{pi} | 風荷重 $W >$ - 3920 N/m^2 $w=288$ |
| 屋根勾配 / ピーク外圧係数 C_{pe} | (JASS 8 による) |
| | 吊子の許容荷重 q N |
| | $W \times w \times p$ q であること |

(3) 計算例

高校野球で優勝をのがした某高校は来年のリベンジに向けて屋内練習場を建設してもらえる事となった。屋根はもちろん P & P ステンレス溶接工法でステンレスは FC-4 である。(という話があるといいな) 条件を下記のように想定して屋根面の耐風強度を検討してみた。

屋根の形状 : 片流れ屋根

場所 : A 県 B 市 基準風速 V_0 36 m / 秒 (基準法付表より)

地域環境 : 地表面粗度区分の選択

建設地は都市計画区域内にあり、特定行政庁の指定なし

また海岸から 200 ~ 500m

平均屋根高さ : 36 m (34 ~ 38 m 屋根長さ 50m 屋根勾配 4.6度)

したがって

地表面粗度区分は とし

C_{pi} は閉鎖系の建築物として $C_{pi} = 0$

屋根勾配 4.6度 ゆえピーク外圧係数 - C_{pe} を付表より選択する。

以上の条件で計算される平均速度圧は $\bar{q} = 1136 \text{ N/m}^2$

となる。計算によって得られる風圧力 W (N/m^2) は - C_{pe}

とあわせ下表のようになる。

| | - C_{pe} | W (N/m^2) |
|-----|------------|------------------------|
| 一般部 | - 2.5 | - 2840 |
| 準局部 | - 3.2 | - 3635 |
| 局部 | - 4.3 | - 4884 |

(計算の詳細は「施工と管理」2000.6 No.163が参考になります)

風圧力 W の最大値が - 4884 N/m^2 で - 3920 N/m^2 を超えるので面材の働き幅を 288mm とし、吊子の許容荷重をクリアするように母屋ピッチを確定する。

この例では母屋ピッチ 455mm となる。

参考までに旧基準法で計算すると $\hat{q} = 120 \times \sqrt[4]{H}$ (最高高さ) = 2992 N/m^2

風力係数を 1.5 とし $W = 1.5 \times \hat{q} = 4383 \text{ N/m}^2$ となり改正基準法より 1 割方軽く出る。

(4) このように改正建築基準法施行令はかなりややこしい計算を強いられる。計算に必要なデータも旧基

準法では屋根高さだけであったのに複雑になった。なによりも大事なものは受注引き合い検討に際しこれらのデータを細大もらさず把握することである。

4.2 材料選定

ステンレスと聞けば、多くの人々はさびない金属をイメージする。実際にはさびることもあり、私たちはいろいろな腐食問題を経験してきた。腐食は景観性を損なうだけでなく、進行すれば穴あきに至り、漏水という重大な問題を引き起こす。それらを防止するため、設計段階で十分な検討を行い、この種のトラブルを避けたいものである。当社防水保証基準から見た鋼種の使い分けの例を表4-1に示す。また表4-2に耐久性を示す。「シーム溶接工法」を設計するときの材料選定の参考にさせていただきたい。

表4-1 適応環境と材料選定

| 材質 | 表面 | 仕上 | 適応環境(地域) | | | | | 最長保証期間 |
|----------------------|----|-------------|----------|----|----|----|----|--------|
| | | | 海浜 | 工業 | 都市 | 田園 | 特別 | |
| SUS304 | 素地 | 2D | × | | | | × | 10 |
| SUS304 | 塗装 | NS-X1(シリポリ) | | | | | × | 10 |
| SUS304 | 塗装 | NS-XF(フッ素) | | | | | × | 10 |
| SUS316 | 素地 | 2D | | | | | | 15 |
| NAR-FC-4 (フェライ特系) | 素地 | DF | | | | | | 15 |
| チタン | 素地 | DF | | | | | | 20 |

- ・ 耐久性、メンテナンス性、保証、イニシャルコストから見た用途別選定例。
- ・ 総合評価：優 > > > × 劣
- ・ はメーカーとして推奨する。 は使用可、 は使用に注意を要す。 × は使用を避けること。
- ・ SUS304(素地)は海岸より5km以内での使用を禁止する。
- ・ 特別地域とは温泉地等の腐食環境地域を指す。
- ・ 最長保証期間(数値)は年限を示す。

表4-2 素材の耐久性

| 材質 | 表面 | 表面状況 | | 耐食性又は耐候性 | |
|----------------------|-------------|------|----------------------|----------|------------------------------------------|
| SUS304 | 素地 | × | 地域により1~2年で発錆することがある。 | × | 10年程で約100μmの孔食が発生。地域と使用条件により穴あきに至る場合もある。 |
| SUS304 | 塗装 NS-X1 | ~ | 数年で色あせが生じるが塗膜は強靱である | ~ | 塗装で素地保護機能はあまり期待できない。 |
| SUS304 | 塗装 NS-XF | | 塗膜性能に優れ、色調が長期間持続する | | 塗膜が素地を腐食環境から保護する |
| SUS316 | 素地 | | 地域により2~4年で発錆することがある。 | | 10年程で約30μmの孔食が発生。 |
| NAR-FC-4 (フェライ特系) | 素地 | | 軽度の発錆が生じるが孔食にはなり難い | | 10年程で約5μmの孔食になると推定される。 |
| チタン | 素地 | | 発錆はないが多少の変色がある | | 腐食は発生しない。 |

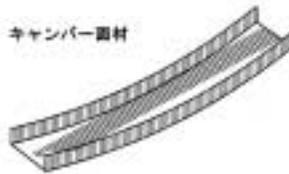
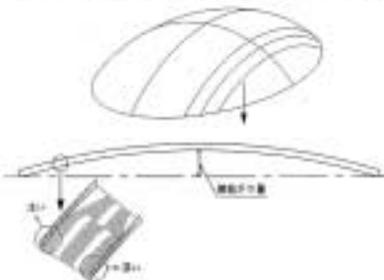
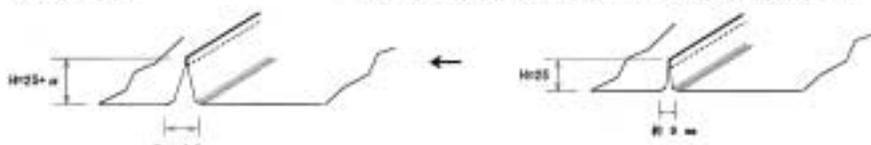
- ・ 評価：優 > > > × 劣

4.3 特殊形状屋根の葺き方

同じ屋根ならデザインのおもしろさでアピールしようかと思われるほど新奇性のある形をした屋根が増えているように思われる。止水性能にこだわる限り、瓦葺きや立平葺き、フラットルーフではどうにも無理があるような形も多い。そのような時、屋根は飾りで止水は下地の防水層に頼るといいう屋上屋的な非効率な意匠偏重のコンセプトがとても気になる・・・などと書くと設計の先生方にしかられるかも知れない。お許しいただきたい。

やはりこの様なケースではP&Pステンレス防水工法の出番と考える。防水工法としてスタートした本工法が特殊形状屋根へ数多く適用される現況をみて“生まれ変わる『ステンレスシート防水』”の感を強くしている次第である。

(1) P&P工法における特殊形状屋根を葺くための武器と効果

| | 概 要 | 何ができるの？ 効果は？ |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 新ドーム成型機 | <ul style="list-style-type: none"> ・さざ波付与・スリット・面材成型を連続工程で行うことができる ・NC制御成型機  | <ul style="list-style-type: none"> ・テーパ面材は元より、狭い働き幅から徐々に広がりがまた狭い幅に戻るリーフ面材。中央が狭くなる中細面材などを高い精度で成型が可能 ・新ドーム成型機による施工例 <ul style="list-style-type: none"> ・ 湖西市余熱利用複合施設 ・ 朝日町清掃センター ・ 津モーターボート競走場 ・ 秋田県立屋内温水プール ・ 早稲田実業高校エントランス ・ 高知余熱利用施設 ・ 日本科学未来館 |
| さざ波付与 | <ul style="list-style-type: none"> ・面材長手方向にピッチ 20mm × 深さ 0.3~1.0mm のさざ波をロール成型により付与する ・また深さを左右で変えることにより面材にキャンバー（横曲がり）を付与できる  | <ul style="list-style-type: none"> ・面材の熱伸縮挙動に対し柔軟性を得る ・風圧力に対する変形強度向上 ・成型歪み、溶接歪みを軽減できる ・球体屋根に対しストレートに見える特殊割付けが可能 となる（大分スポーツ公園・ビッグアイ）  |
| 押み高さの調整 | <ul style="list-style-type: none"> ・押み合わせ部の高さを高めに調整する ・高めに調整  | <ul style="list-style-type: none"> ・ストレート面材にリーフ形状効果を出すことができるので、曲率の大きな球面屋根などではリーフ面材を使わずに葺くことが可能（大阪中央体育館） |

(2)面材割付に関する提案の一例

前項で述べて来たように武器を有効に使うことによって品質・施工効率の改善をはかることが可能である。一例を下記に紹介する。

右図に示す曲面屋根は比較的単純であるかのように見える。ヴォールト屋根を軸方向に曲げた形といえる。

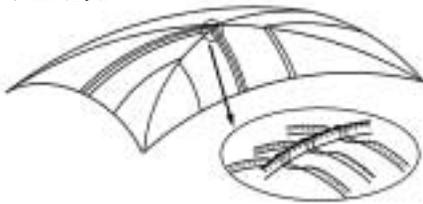
この種の屋根では過去下図のような面材割付けをしていた。

クロスに棟を設けるか田の字に棟を設けるか
いずれにせよ、この割付では棟の部分でYジョイントや
クロスジョイントが多数出てくる。

両方向曲面屋根

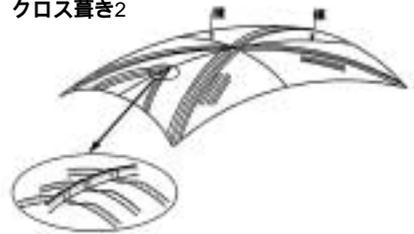


クロス葺き



または

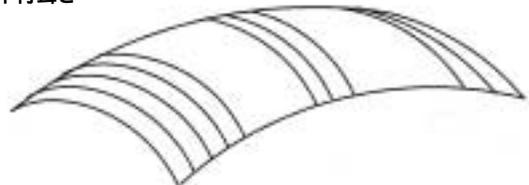
クロス葺き2



Yジョイント、クロスジョイントあるいはTジョイントは4枚重ねとなるためシーム溶接の後、TIG溶接による完全シールが必要になる。TIG溶接は技能者が必要であり工数もかかる。

そこで棟を無くした割付けができないか。右図の様に割り付ける時、端に行くに連れて面材にはキャンパーが必要になる。屋根の曲率によってはキャンパーの付与限界を超える部分が生じてくる
その時はリーフ面材を調整面材として割り付ける
予め計画的な割付け検討が必要である。

平行葺き



現在、ある物件でこの方式を検討中である。

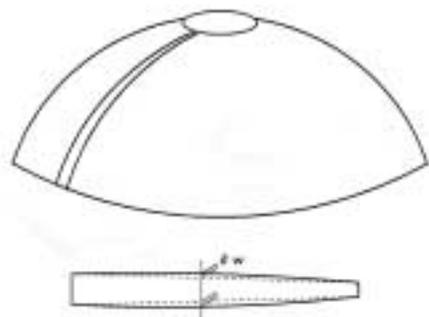
(3)リーフ面材を適用した場合のメリット

球形ドーム屋根の割付けで、旧来は材料の帯板を床に広げて材料面にテーパ墨を入れて、墨をトレースしながらスリット、立ち上げ成型しテーパ面材を作る。寸法精度も悪く長い面材は製造できないため大型屋根では面材をつないで構成せざるを得なかった。

また右図に示す様にテーパ面材では割付けで不足する幅 W は、挿み部が引っ張られるかたちで調整されるため W が大きい部分では面材のべこつきが避けられないという問題もあった。

さらに球面をカバーする場合、かつては赤道でのつなぎが避けられないという問題があったが新ドーム成型機の出現でこの問題も解消した。

前号で紹介した「津モーターボート競走場シアター棟」と「日本科学未来館」はこの技術を採用しており、見る人が見れば画期的であることがおわかりいただけるものと思う。



テーパ面材とリーフ面材の幅差

写真 新ドーム成型機での成形作業



さざ波付与成形



新ドーム成型機での成形作業

4.4 熱伸縮 - 長尺工法の考え方、断熱仕様の考え方

4.4.1 熱伸縮の不思議

ステンレスシート防水工法にとって、熱伸縮の問題は当初からの課題であり常に頭を悩ませてきたことである。

鉄と比べて40%程も大きい熱膨張係数は、無意識のうちに恐怖感をもたらしていた。

それを裏付けるように、施工途中の現場から、『前の日に吊子にスポット溶接で仮止めしていた面材が、晩のうちに動いてスポットがはずれた！』というような報告が入り、いよいよその恐怖感はついついあったものである。

一方で、施工後の現場ではまた違う状況に悩んでいた。SUS304の場合、温度差を30℃として理論どおり伸縮するとすれば、20m長さでは全長で10mm以上の動きができることになる。仮に中央が不動点となっても片側5mmの動きとなるのだから、完成後の屋根を見に行けばきっと動いた痕跡があるだろうと注意深く観察するが、そんなに動いているようには見えない。

一方では動きに脅え、他方では動かないことに不満を感じるという奇妙な状態が長い間続いた。

4.4.2 熱伸縮の実態とは

これに決着をつけようと、あちこちの空地を利用して長尺テストを開始した。初めは恐る恐る40m程度から開始したが、100mの長尺テストに至ってようやく自信のもてる理屈を見いだせた、と考えている。

P & P工法の面材は、極めて単純な断面形状をしており、しかも一般的には歪みも少なからず発生している。これは取りも直さず、面材が熱伸縮の力をうまく伝達できないということであり、オーバーに例えて言うならば、くねくねと蛇行させた針金で吊子を押したり引いたりするようなもので、力は思うように伝わらないということになる。言葉を変えると、思ったより小さな力でも動きを拘束できるということなのである。



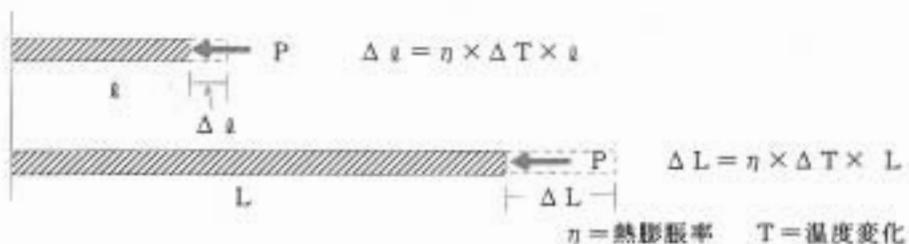
100m長尺テスト（試験体）

4.4.3 拘束力と可動率

ロングレール理論は、ケタ違いの拘束力でレールの伸縮を抑え込むのであるが、レールの断面強度（剛性）とシーム溶接工法面材の断面強度（剛性）もまたケタ違いである。

熱伸縮量は面材長さに比例して大きくなるが、熱伸縮の力は長さに無関係である。

図4-1 熱伸縮の力（P）のイメージ



$$\frac{P}{L} = \frac{L}{L} = T \times \eta = \dots$$

$P = \dots \cdot E$: 歪み E : ヤング率
熱伸縮を押さえ込む P は長さに関係しない。

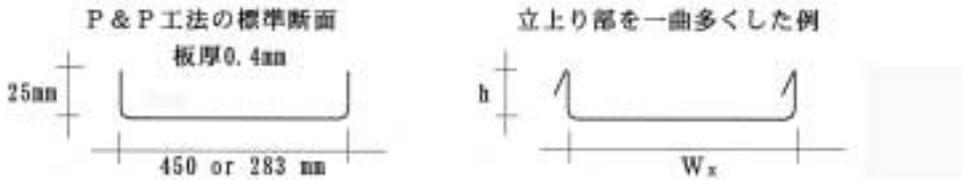
面材長さを長くしても熱伸縮力は変わらないのに対し、吊子の数が増える分、吊子の拘束力(*4)は大きくなるということになる。

このことは、長さ20mにおける可動率(*5)と40mの場合の可動率、100mでの可動率がそれぞれ異なることを無理なく説明してくれる。

100mテストの結果では、可動率が実に3%以下であった。もちろん、この結果は吊子の拘束力と面材

の断面強度（剛性）とのバランスにより変わる。例えば溶接接み合せ部の形状を1曲多く曲げたり、断熱材敷き込みで背の高い吊子を使用したりする場合には可動率が変わるので注意を要する。

図4-2 曲げ加工のイメージ



長尺になれば、ロングレールの理論と同じく中央部に不動区間^(*6)が発生し、長くなれば長くなるほど不動区間の範囲も広くなると考えられる。

図4-3 簡易モデルでの不動区間イメージ



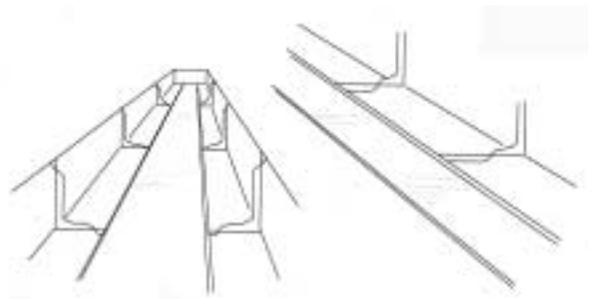
面材の強度（剛性）、吊子の拘束力・下地の状況によって は変わり、不動区間も変化する。

4.4.4 熱伸縮への配慮がトラブルを未然に防ぐ

膨張係数の小さなフェライト系ステンレスが開発されたことと、熱伸縮に対する見解がほぼ整理できたことで長尺物件に対する問題はほぼ解決できた。しかし「樋」であるとか「端部面材^(*7)」に対してはこの拘束力が働きにくいいため、十二分に熱伸縮に配慮した納め方が必要となる。

この辺りが、このステンレスシート防水工法の難しさであり、醍醐味であるのかもしれない。

図4-4 端部面材のイメージ



R C躯体において、躯体の外側で断熱する、“外断熱工法”はステンレスシート防水工法にとって一般的なものである。

また、鉄骨造においても各種の野地板の上に防湿層を設け、その上に断熱材を敷き、ステンレスで断熱材を守るという工法も多い。

いずれも、居住環境の向上、結露防止、省エネルギーに効果があるものと言えるが、こうした断熱仕様においては、先にも触れたとおり、吊子の拘束力が低下することに注意しなければならない。

不動区間の中でも断面強度（剛性）に応じた熱伸縮力が働いている。部分的に溶接ハゼを低くカットしたり、倒したりするとその部分に変化が集中し割れに至るケースも生じかねない。

4.4.5 美しい屋根を創意工夫

「面材の断面強度（剛性）」と「吊子の拘束力」のバランスを見いだし、それを守るために設計上の工夫を怠ることはできない。面材へのサザ波付与は当社の標準仕様であるが、さらに歪みの少ない溶接を押し進める上でサザ波（横リブ）を深く入れることは仕上がりを美しくするのみならず「面材断面強度」を下げる有力な方法と考えている。

こうした工夫も含め、我々は今後とも基本的には動きを拘束する方向でこの工法の改善・発展を目指して、実験～理論の組み立てを進めて行くつもりである。

注 *4 吊子がステンレス面材の伸縮を押さえる作用

*5 理論値に対する実際の動き

*6 面材の剛性といくつかの吊子の拘束力がバランスして吊子が動かない部分

*7 パラペットや突起物廻りで使用する立ち上げ部を含む面材

4.5 「ステンレス防水工法」と下地構成

金属屋根の性能の充足方法を考えるとき、下地構成が大きな役割を持つてくる。中でも要求される性能として特に、防水、防湿・防露、断熱、結露、遮音、耐局圧などがあるが、「P & P防水工法」も同様の要求性能に対して応えていかなければならない。

屋根の性能は概ね下地構成で決定されるから、その選定には充分の配慮が求められる。当社は設計に関する「納まり基準」に断面構成を図示し、適切な組み合わせを提案している。

4.5.1 要求される性能と下地構成

下地構成材として、下葺材、野地材、断熱材があるが、それらを組み合わせることで、屋根に要求される性能を概ね満たすことができる。表4-3は要求性能と下地構成材の関係を示したものである。

表4-3 要求性能と下地構成材の関係

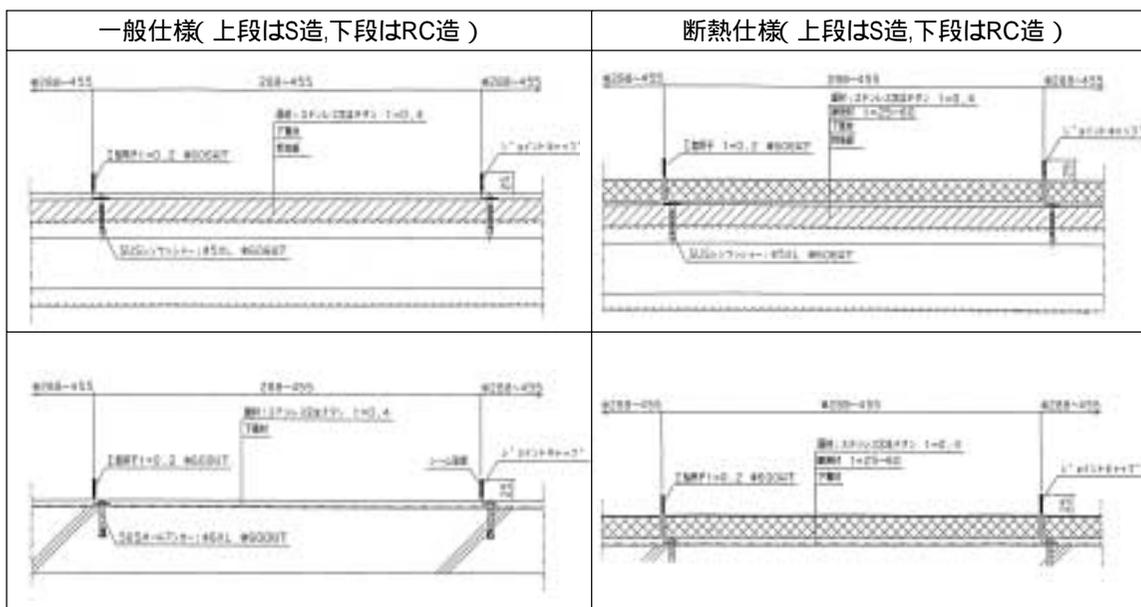
| 下地構成材 | | 要求性能 | 防水 | 防湿 | 防露 | 耐局圧 | 断熱 | 結露 | 遮音 |
|-------------|--------------------|------|----|----|----|-----|----|----|----|
| 下 葺 材 | アスファルトルーフィング940 | | | | | × | × | × | × |
| | ゴム改質アスファルトルーフィング | | | | | × | × | × | × |
| | ゴムシート(粘着剤付) | | | | | × | × | × | × |
| 野 地 材 | 木毛セメント板(20~25mm) | × | × | × | | | | | |
| | 高圧木毛セメント板(20~25mm) | × | | | | | | | |
| | 硬質木片セメント板(20~25mm) | × | | | | | | | |
| 断 熱 材 | ポリスチレンボード(20~70mm) | × | | | | | | | × |
| | グラスウールボード(25~50mm) | × | | | | | | | × |
| | 硬質ウレタンボード(20~50mm) | × | | | | | | | × |

・評価：優 > > > × 劣

4.5.2 基本断面構成図

断面構成としては、一般工法は基本躯体上に下葺き材および野地材が敷かれる。断熱工法ではさらに断熱材が敷かれる。下図は一般仕様と断熱仕様の代表例である。

表4-4 基本断面構成の代表例



第2回目として、耐風圧、熱伸縮、基本断面など、主として設計に関わる考え方を解説してきた。次回(最終回)はステンレス溶接工法で最も大切な『シーム溶接』を含めた施工について述べていきたい。なお、前回の事例紹介で物件の設計者が記載されていませんでした。お詫びすると共に紹介いたします。日本科学未来館[(株)日建設計]、津モーターボート競走場[(株)日建設計]、御母衣発電所電力会館[(株)開発設計コンサルタント]、湖西余熱利用複合施設[(株)石本建築事務所]、浦安運動公園屋内プール[(株)石本建築事務所]