

2003年度木材強度・木質構造研究会 秋期シンポジウム

「地域材利用の技術開発の動向—宮崎」

2003年10月16～17日

宮崎

主催：日本木材学会木材強度・木質構造研究会

後援：宮崎県木材利用技術センター

# 2003年度木材強度・木質構造研究会秋期シンポジウム

主催：日本木材学会木材強度・木質構造研究会

後援：宮崎県木材利用技術センター

日程：2003年10月16日（木）、17日（金）

場所：ホテル メリージュ（宮崎市橘通東3丁目1-11）

## プログラム

（第1日目）10月16日（木） 会場：ホテル メリージュ

13：00～13：20 受付

13：20～17：00 講演会

17：30～19：30 懇親会

### 講演会「地域材利用の技術開発の動向－宮崎」

#### 1. 宮崎県の林業・木材産業の動向

宮崎県木材振興課 高松和弘氏

#### 2. 木製ガードレールの動向

－強度について－

森林総合研究所 神谷文夫氏

－維持管理について－

和光コンクリート工業株式会社 金丸和生氏

#### 3. 木造ドームの動向

宮崎県木材利用技術センター 飯村豊氏

（第2日目）10月17日（金）

8：00～16：30 見学会

### 見学会

かりこぼうず大橋（西米良村）

木製ガードレール（西都市）

宮崎ドーム（宮崎市）

## 目 次

1. 宮崎県の林業・木材産業の動向	
宮崎県木材振興課 高松和弘	・・・・・・・・ 1
2. 木製ガードレールの動向	
－強度について－	
森林総合研究所 神谷文夫	・・・・・・・・ 17
－維持管理について－	
和光コンクリート工業株式会社 金丸和生	・・・・・・・・ 21
3. 木造ドームの動向	
宮崎県木材利用技術センター 飯村豊	・・・・・・・・ 24
<b>資料</b>	
宮崎県全天候型運動施設（仮称）建設主体工事	・・・・・・・・ i～x

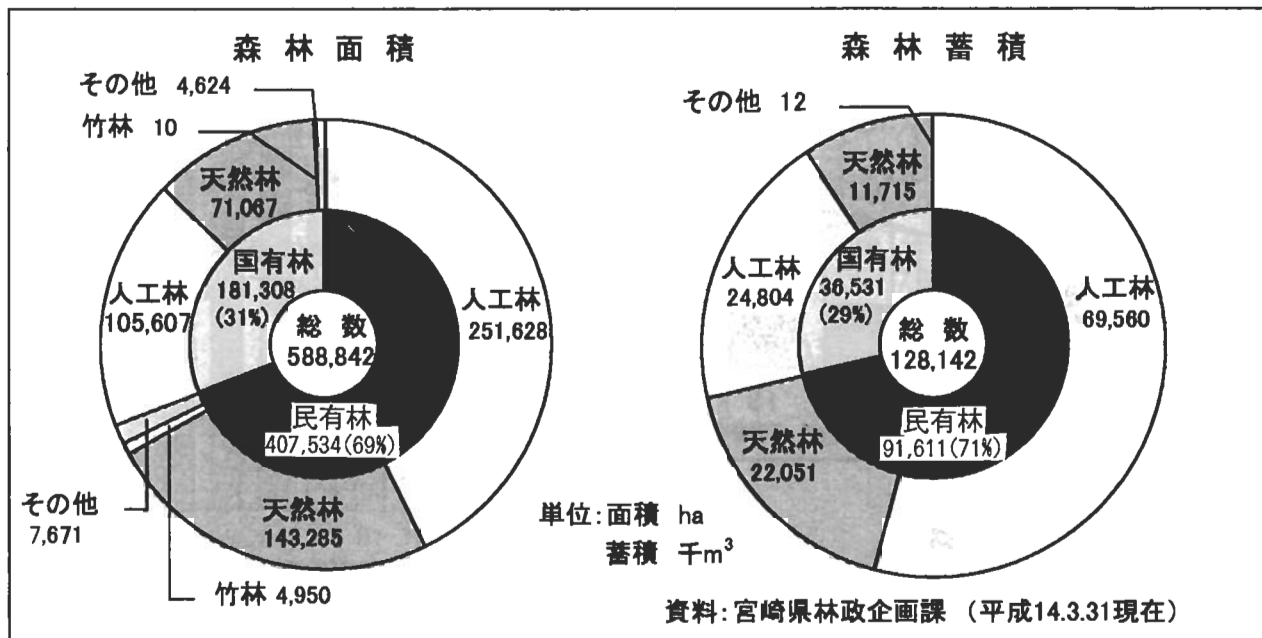
2003年度 木材強度・木質構造研究会秋期シンポジウム

演題項目：「宮崎県の林業・木材産業の動向」

宮崎県木材振興課 課長 高松 和弘

# I 森林資源

## 1. 森林面積及び蓄積

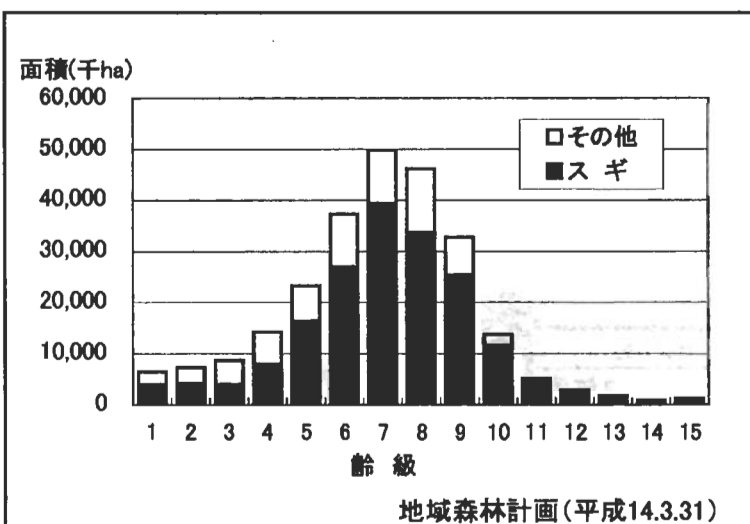


○平成14年3月31日現在の本県の森林面積は、県土の76%に当たる58万9千haで、うち民有林が69%の40万8千ha、国有林が31%の18万1千haとなっている。

○戦後、積極的に進められた拡大造林により人工林は35万7千haで、その内民有林は62%に当たる25万2千haが、国有林は58%に当たる10万6千haが人工林となっている。

○本県の森林蓄積は1億2,814万m³で、その内国有林の蓄積は3,653万haで、民有林の蓄積は9,161万m³であり、1ha当たりの蓄積量は217m³となっている。

## 2. 人工林年齢別面積(民有林)



○人工林の73%に当たる約18万4千haがスギである。

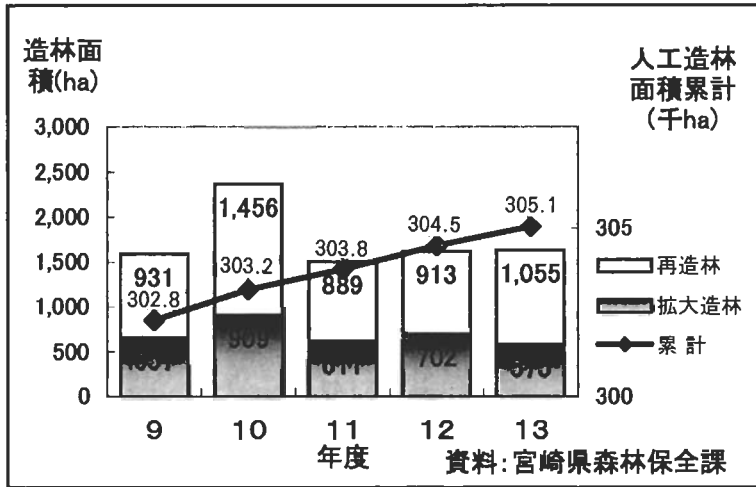
○8年齢以上の人工林が約8万7千haと人工林の44%を占めており、伐採可能林分が増加している。

○人工林の年間生長量は約2百60万m³となっている。

参考 宮崎県の森林の生長量 (単位: 万m³/年)

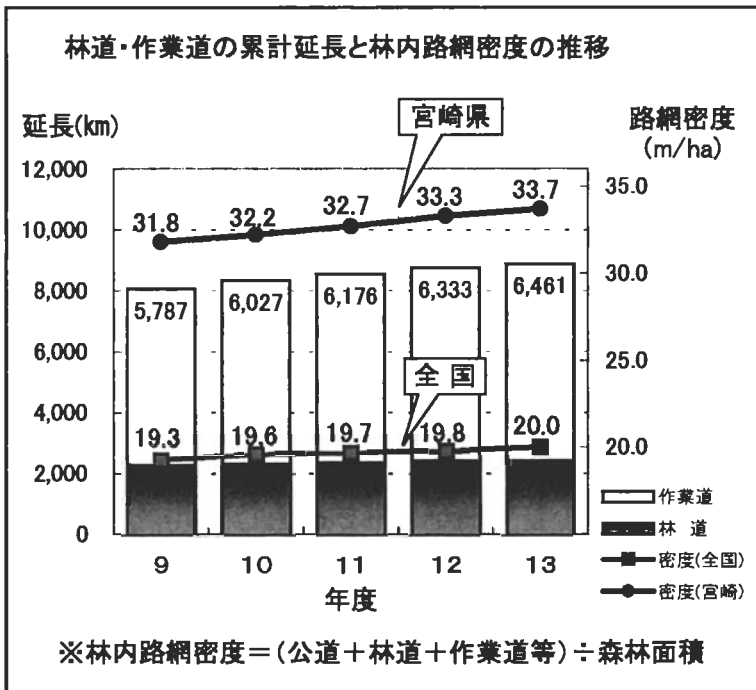
	全体	スギ	その他
民有林	312	215	97
国有林	138	87	51
計	450	302	148

### 3. 人工造林面積の推移



- 平成13年度の人工造林面積は、1,630haであり、このうちスギは1,102haで全体の68%を占めている。
- 造林面積は平成7年度以降ほぼ横ばいで推移している。
- 再造林が全体造林面積の約65%の1,055haを占めている。

### 4. 林内路網密度の推移



- 本県の平成13年度末の累計延長は林道2,414km、作業道6,461kmとなっている。

### 林内路網密度

順位	県名	林内路網密度(単位: m/ha)			
		10年度	11年度	12年度	13年度
①	宮崎県	32.2	32.7	33.3	33.7
②	鹿児島県	28.0	28.3	28.7	28.8
③	佐賀県	26.1	26.4	26.8	27.2

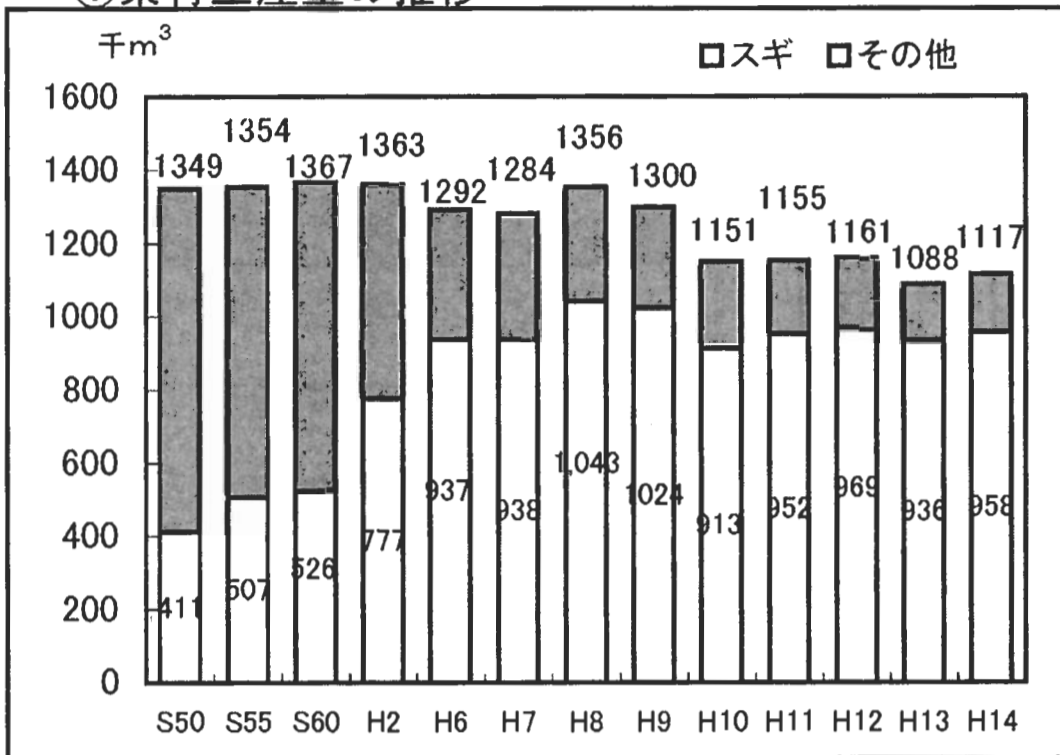
- これに公道延長を加えた林内路網密度は33.7m/haで全国1位である。

資料: 宮崎県森林土木課

## II 素材生産

### 1. 素材生産量

#### ①素材生産量の推移



(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

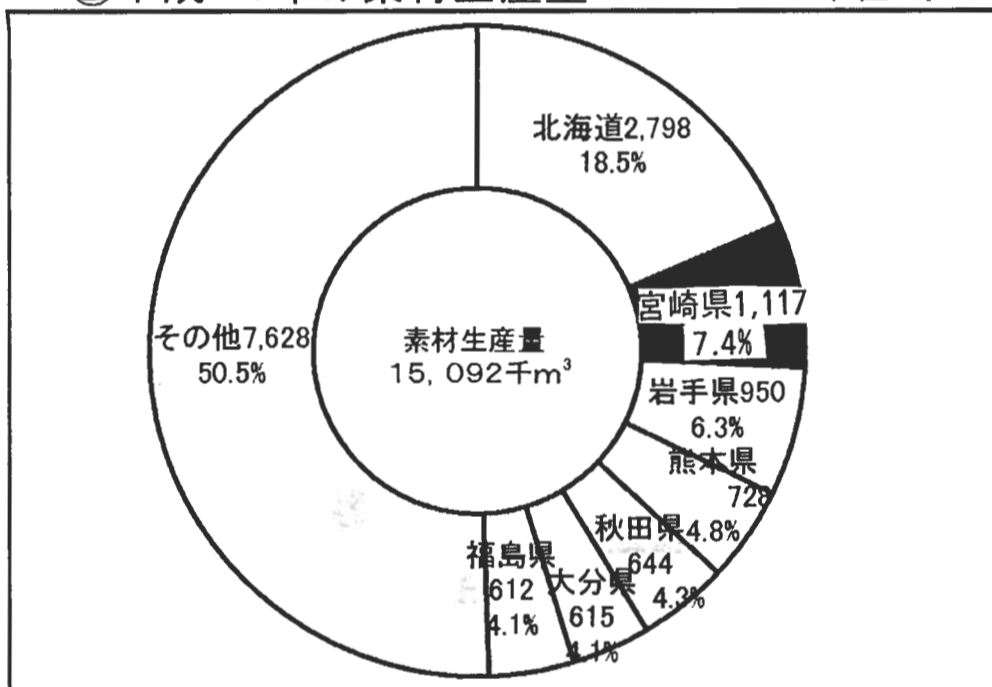
○近年の素材生産量は、110万～120万m<sup>3</sup>で推移

○平成14年の素材生産量は、1,117千m<sup>3</sup>

○素材生産量に占める杉の割合は、年々増加傾向にあり平成14年は86%

#### ②平成14年の素材生産量

単位:千m<sup>3</sup>



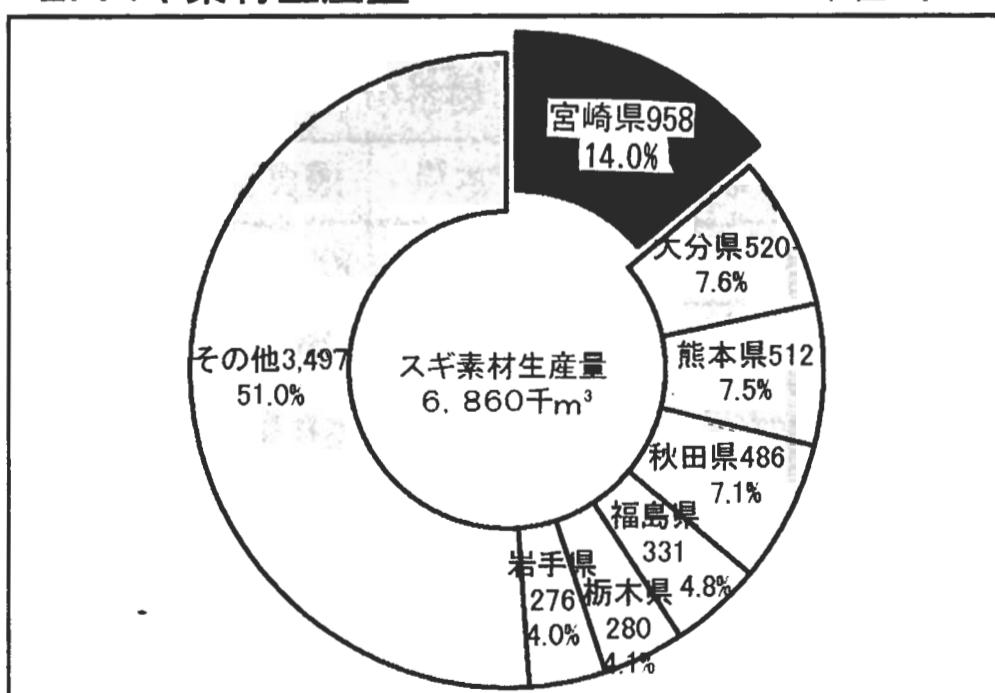
(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

○本県の素材生産量は、北海道に次いで第2位  
(平成12年も第2位)

○素材生産量112万m<sup>3</sup>のうち針葉樹が約104万m<sup>3</sup>で93%

#### 2. スギ素材生産量

単位:千m<sup>3</sup>



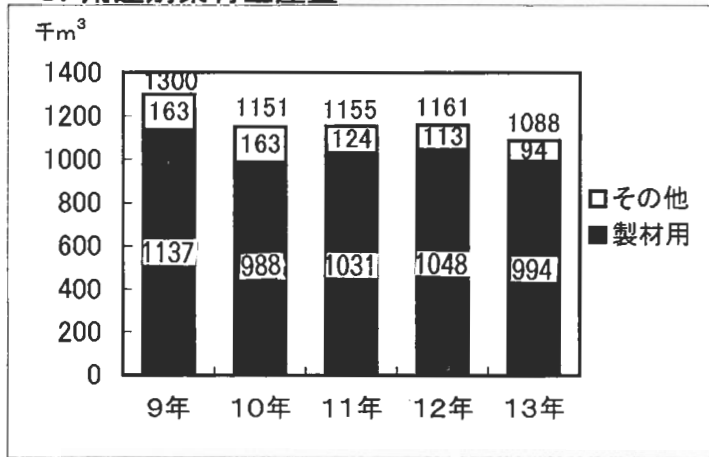
(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

○本県の杉の素材生産量は、平成3年以来連続して全国1位

○本県の平成14年の杉生産量958千m<sup>3</sup>は、全国生産量の14%に当たる

○南九州4県の杉素材生産量は、約226万m<sup>3</sup>で全国生産量の約3割

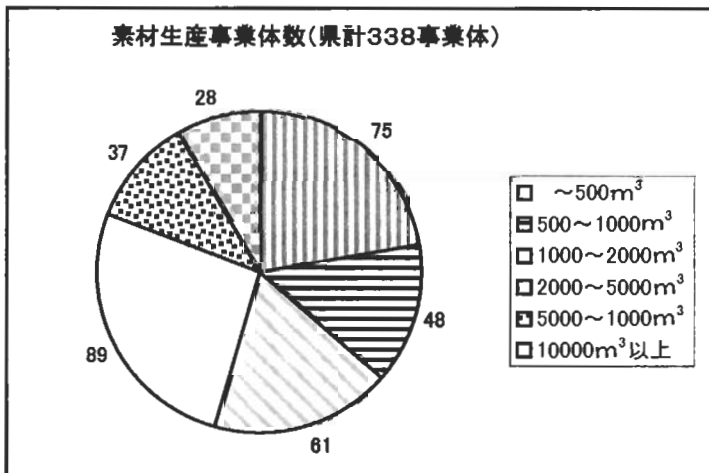
### 3. 用途別素材生産量



(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

○製材用素材生産量は、平成13年で994千m<sup>3</sup>で全体の91%

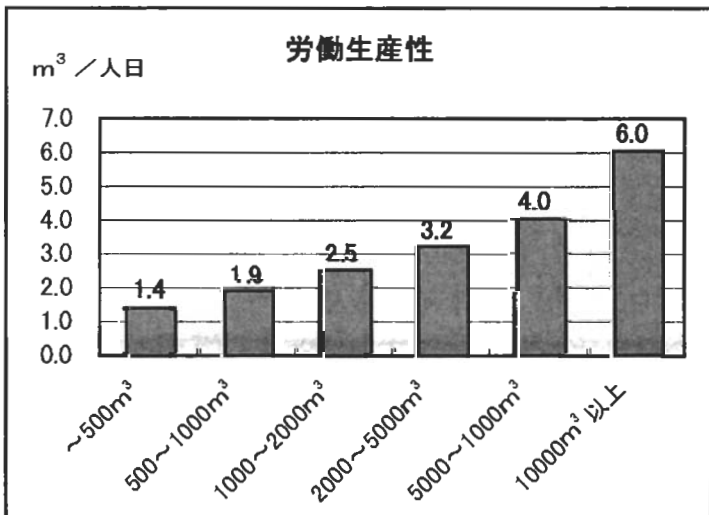
### 4. 素材生産事業体



(2000年農林業センサス)

○県内の素材生産事業体は、338事業体

○2,000m<sup>3</sup>以下の事業体は、全体の54%



(2000年農林業センサス)

○規模別の労働生産性は、1.4~6.0m<sup>3</sup>/人日  
平均では全国の3.2m<sup>3</sup>/人日を上回り4.3m<sup>3</sup>/人日

### 5. 高性能林業機械の保有状況

順位	県名	林業機械 (単位:台)			
		H10年度	H11年度	H12年度	H13年度
1	北海道	459	495	480	462
②	宮崎	182	193	201	204
3	熊本	124	124	130	149 (岩手)

○高性能林業機械の保有台数は北海道に次いで全国第2位

○プロセッサ、ハーベスタ、グラップルソーが中心

○林業労働機械化センターによる共同利用方式を推進(39台)

(林野庁調べ)

### 6. 労働力

林業就業者数 (単位:人)

順位	平成2年	平成7年	平成12年
1	北海道 17,514	北海道 12,586	北海道 9,067
2	秋田 6,113	岩手 4,298	岩手 3,637
③	宮崎 5,392	宮崎 4,232	宮崎 3,212

○林業担い手対策基金(50億円)、森林・林業振興基金(10億円)の活用により、通年雇用など就労条件を重点整備

○先導的担い手集団が増加

(平成7年44事業体  
→平成12年66事業体)

(国勢調査結果)

## III 製材加工等

### 1. 製材工場の状況

区分	昭和50年	平成12年	平成13年	平成14年
工場数	432	270	247	240

(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

○平成14年の製材工場数は、240工場で年々減少

○1工場あたりの出力数は、全国平均91.2KWを上回り、148.6KW製材工場の大型化、近代化が進行

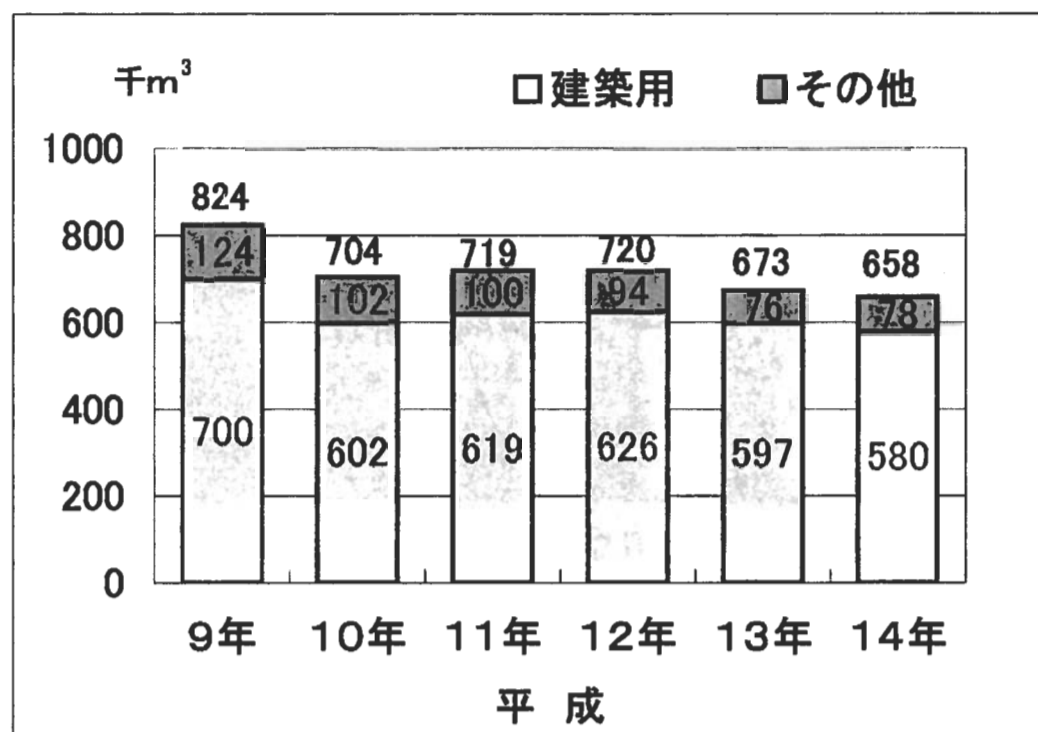
### 2. 1工場あたりの指標

区分	出力数	原木消費量	従業者数
全国	91.2KW	2,106m <sup>3</sup>	6.0人
本県	148.6KW	4,004m <sup>3</sup>	9.7人

(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

○原木消費量1万m<sup>3</sup>以上の製材工場は26工場

### 3. 用途別製品出荷量の推移



(農林水産省統計情報部「木材需給報告書」)

○製材品出荷量は全国第4位であるが2年連続で昭和60年台以来の60万m³台

○建築用の製材品出荷量は、全体の89%

○一般製材業製品出荷額  
279億円(H13年)

○就業者数  
2,316人(H14年)

## IV 高次加工工場等

### 1. 集成材工場数及び生産量

区分	平成10年	平成11年	平成12年	平成13年
工場数(工場)	15	15	12	12
生産量(m³)	28,410	21,639	19,428	17,278
うち構造用(m³)	1,525	2,303	2,260	2,832

(木材振興課資料)

○集成材の生産量は、年々減少傾向にあるが、九州で2番目となる大断面集成材工場の操業(平成11年4月)などにより、構造用集成材は増加傾向

○出荷額 16億円(H13年)

○就業者数 470人(H13年)

### 2. 新たな高次加工施設整備の取組

本県の集成材工場等は、地域材の利用率が高いこともあり加工コストが高く、輸入製品との競争には不利なことから、集成材工場の省力化、合理化を進めるとともに、原材料として低価格であるB材や短尺材を有効に活用した集成材やLVLの高次加工施設の整備により、県産材の更なる需要の拡大を図っている。



デクスウッド(DCS: Dry Crackless Straight)

スギB材を半割にして15%以下に乾燥し、その後むら取りして、接着した2ピース積層管柱(双子柱)の生産を開始する。

### 3. プレカット工場数及び加工実績

区 分	平成4年	平成8年	平成12年	平成13年	平成14年
工場数(工場)	5	11	9	9	9
加工棟数(棟)	599	2,642	2,743	2,713	2,882

(木材振興課資料)

○加工棟数は、プレカットの普及や全自動ラインの導入などで順調に増加し、県内の木造軸組住宅の約4割

○出荷額9億円(H14年)

○就業者数135人(H14年)

### 4. 乾燥材の生産

区 分	11年度	12年度	13年度
工場数(工場)	49	42	33
乾燥機数(基)	(61) 111	(58) 100	(58) 99
生産量(千m <sup>3</sup> )	89	65	65
うち建築用(千m <sup>3</sup> )	40	34	60

※平成13年度の生産量の欄は、出荷量

※( )書は建築用材主体

(木材振興課資料)

○平成13年乾燥材生産工場は、33工場で、99基の乾燥機を整備  
そのうち、スギ建築用材を主体とする乾燥材生産工場は、18工場  
で、58基を整備

○平成13年乾燥材出荷量は65千m<sup>3</sup>  
で、製材品出荷量の10%

○乾燥材出荷量の92%は建築用

### 乾燥機を整備計画

(単位:基)

区 分	13年度	14年度	15年度	16年度	計
補助	43	17	17	21	98
リース	4	4	7	-	15
計	47	21	24	21	113

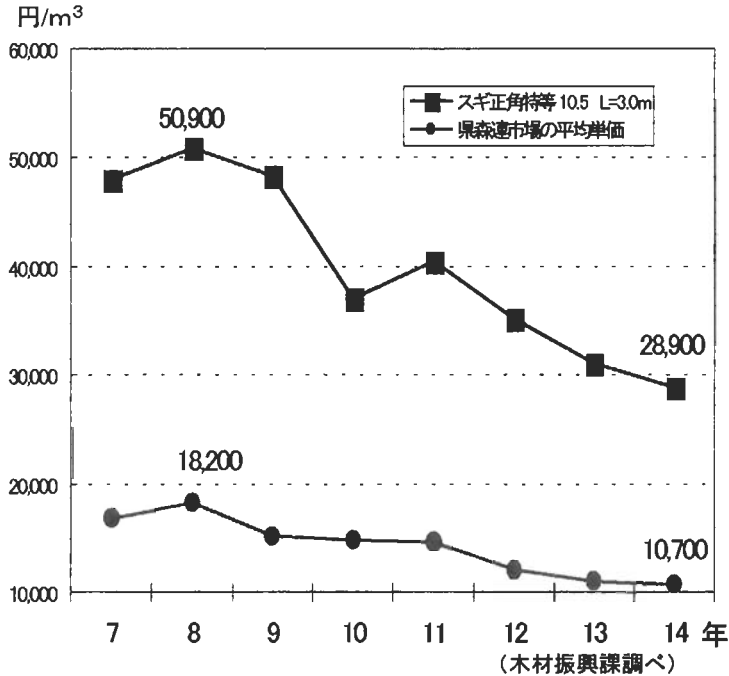
(木材振興課資料)

○平成13年度から、葉枯らし乾燥材から人工乾燥に至る一貫した乾燥材の供給体制を整備

○平成16年度末113基の人工乾燥機導入と既存施設58基を合わせて171基体制により、  
建築用構造材24万m<sup>3</sup>の乾燥材生産を目標

## V 木材の流通

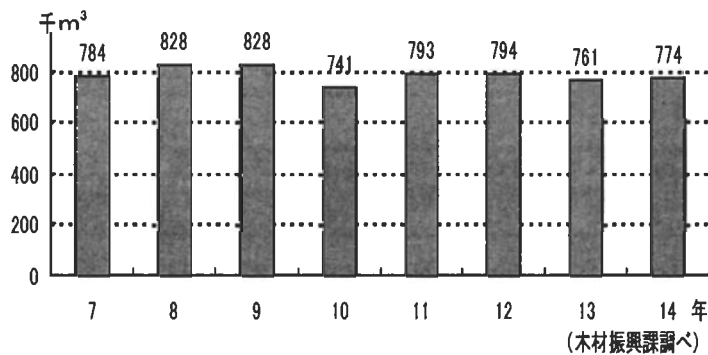
### 1 木材価格の推移



○木材(素材)価格は、昭和54年の3万5千円をピークに下げに転じ、平成9年以降は住宅着工戸数の減少や日本経済の不況の影響を受けて、素材・製品ともに低迷している。

○素材価格については、平成14年春には平均価格が一時1万円を下回るなど、林業経営は厳しい状況下に置かれ、再造林に支障がでている。

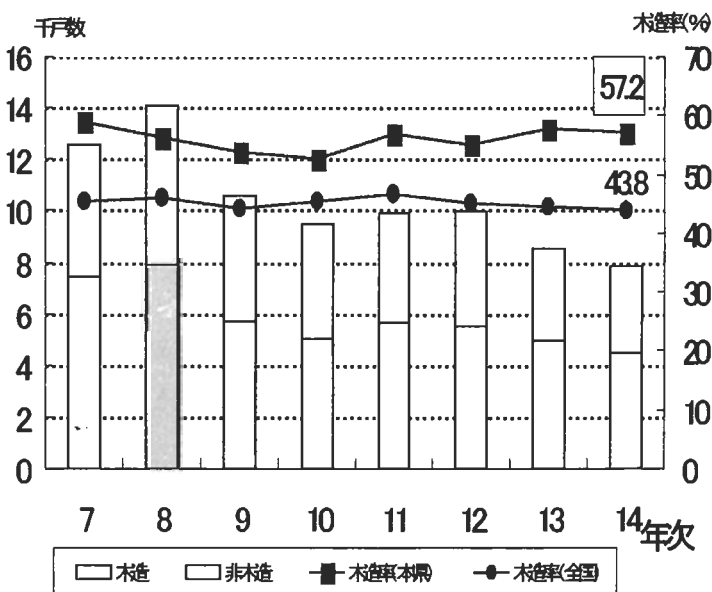
### 2 最近の原木市場取扱量の推移(本県)



○県内17市場で製材用素材の8割に当たる774千m³が流通

○原木市場の取扱数量は、毎年800千m³前後で推移し、原木の集荷や選別に加えて、与信機能の面から重要な役割を果たしている。

### 3 新築住宅着工戸数の推移

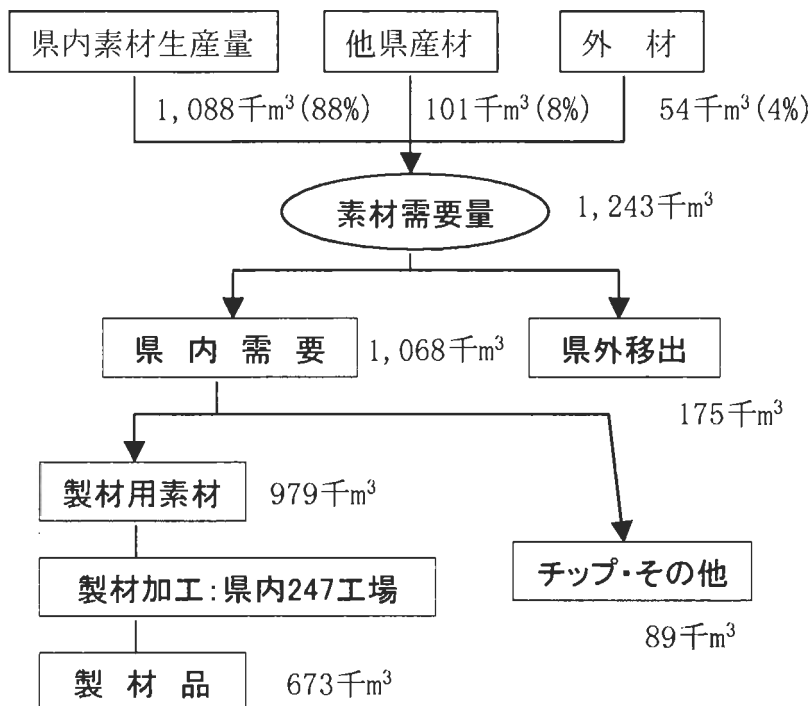


○本県の新設住宅着工戸数は、平成13年に9千戸を割り込んだ。

○平成14年の木造率は、57.2%となり、全国平均(43.85%)に比べると大きく上回っている。

(建設統計年報)

#### 4 製材用素材の流通



○県内19の原木市場（当時）で製材用素材の約8割に当たる

761千m³が流通。

○製材工場に入荷する国産材の割合が94.5%で全国第一位。

○製材品出荷量は、平成7年に福岡県を抜いて7年連続九州一

(用途別内訳)

用途	製品量 (千m³)	構成比 (%)
建築用材	597	89
木箱仕組板・梱包用材	30	4
家具建具用材	4	1
土木・建設用材	24	4
その他用材	18	2
計	673	100

区分	製品量 (千m³)	構成比 (%)
角類	237	44
板類	148	23
割類	212	33
計	597	100

#### 5 製材品の流通

##### ①製材品の出荷動向（平成13年次）

単位：千m³

総数	県内	県外計	首都圏	中京圏	関西圏	九州	沖縄	その他
673	272	401	45	13	44	242	42	15
100%	40%	60%	7%	2%	7%	36%	6%	2%

○製材品出荷量は、前年より7%減（全国は10%の減）

○県外出荷は昭和60年以降、製材品出荷量の5割以上（農林水産省統計情報部「木材需給報告書」）

##### ②首都圏への製材品出荷量（平成13年次）

単位：千m³

県名	北海道	福島	広島	富山	静岡	宮崎
材積	272	228	124	114	109	45
順位	1	2	3	4	5	17

※全国からの出荷量（2,068千m³）の27%にあたる558千m³を東北6県で出荷（農林水産省統計情報部「木材需給報告書」）

## VI 木材需要拡大の取組

### 1. 県内需要拡大

#### ① 木造住宅の普及促進

○平成15年度からスギ乾燥柱(財)(12cm角、3m)を公募・抽選により建築主へ提供  
(80本/戸、100戸分)

#### ② 公共施設の木造化、大型木造施設の建設

○平成9年度から庁内に「県産材利用推進委員会」を設置し、県有施設の木造化を図るとともに、団体等の施設を含めた公共施設や内装木質化などに取り組む。



県営ドーム(H15年度完成予定)  
延床面積11,463m<sup>2</sup>、木材使用量 1,194m<sup>3</sup>

#### ③ 公共土木事業、農業分野での需要拡大

○公共土木事業での木材利用を積極的に推進するとともに、農業分野での需要拡大を図るため、県産材を使用した木造畜舎等に対して、建設費の一部を支援している。



日本一の大型木造車道橋  
かりこぼうず大橋(H15.3完成)西米良村  
橋長 140m、最大支間長48.2m  
木材使用量 1,335m<sup>3</sup>



全国の国道で初めて設置された  
木製ガードレール(H15.3完成)高千穂町  
国道218号高千穂バイパス  
総延長:約600m

#### ④需要拡大の普及啓発

○木材の良さや特性を一般県民に理解してもらうため、ウッドフェスティバル、親子木工教室、宮崎の家づくり空港展等の普及啓発活動を行っている。



##### ウッドフェスティバル

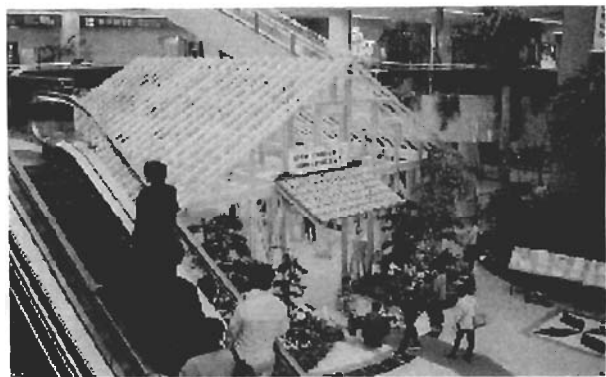
県産材の需要拡大、木材利用の推進を図るため、木材の良さや優れた特性を消費者や児童・生徒に幅広く普及・PRするためのイベントを開催する。

(昭和60年から開催)



##### 親子木工教室

ふだん木に接することの少ない児童・生徒を対象に木工教室を開催することで木工工作の楽しさ、木の良さ、木の特性を認識させる。



##### 宮崎の家づくり空港展

宮崎空港において、県産材を使用した住宅を展示するほか、住宅相談やアンケート調査等を行い、広く県内外の消費者に対し木造住宅の良さを普及PRする。

## 2. 県外出荷対策

### ①製材品の出荷拡大

- ・販売協力店、販売促進員等の設置による普及PR
- ・商社等への説明会・商談会及び市場等でのフェア開催
- ・流通戦略会議の開催
- ・集荷から配送に至る輸送効率化の検討

### ②産地直送住宅の推進



スギを梁等に使用した大阪の産直住宅

○平成3年宮崎県産直住宅推進協議会設立。

○平成4年度から現在までに、  
合計1,592棟の建設実績。

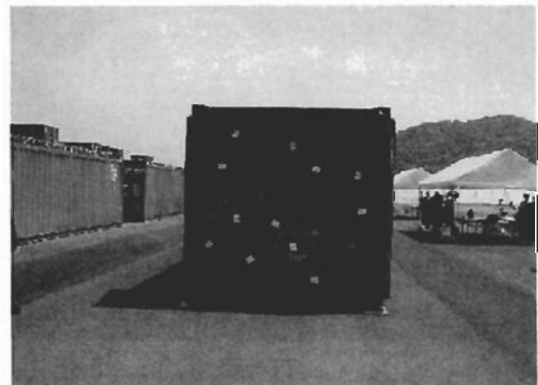
## 3. 海外出荷対策

### ①これまでの取組

- ・中国（廈門）国際木材林産品交易会への出展等によるスギ材のPR
- ・宮崎県と福建省の間で、林業交流強化に関する覚書締結
- ・200 m<sup>3</sup>のスギ丸太輸出



中国（廈門）国際木材林産品交易会（H14.11）



200 m<sup>3</sup>のスギ丸太輸出（細島港：H15.4）

### ②今後の見通し

- ・中国における日本産スギ材の認知拡大
- ・貿易に関する諸課題の整理・解決
- ・安定的な輸出体制の整備

#### 4. 宮崎県木材利用技術センターについて

##### ① 目的

理想的循環資源である「スギ人工林材」の有効利用研究を進め、地域木材関連産業の技術の向上、木材需要拡大につながる新技術・新製品開発に努め、木材関連産業の活性化、それに山村と林業の再生に寄与することを目指す。

##### ② 概要

- ・所在地 都城市花繰町
- ・敷地面積：約 3.4 ha
- ・延床面積：5,148 m<sup>2</sup>
- ・建物規模：木造平屋



- ・総事業費：約 36 億円（建設 23 億円、試験機器 10 億円、その他 3 億円）
- ・特許権 2 件
- 〃（出願中） 6 件



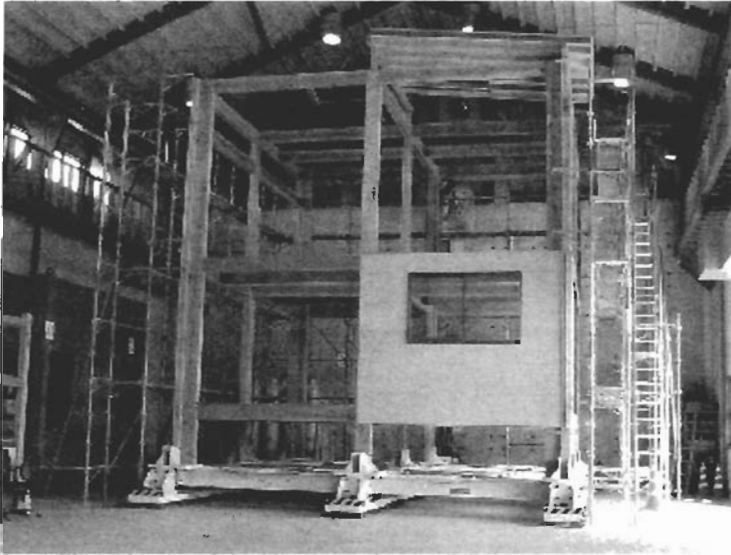
##### ○建物の特徴

木造建築の伝統技能を活かし、金物を極力用いない接合など、最先端の木質構造技術を用いた県内木造施設のモデルとなる施設（研究棟内）

##### ③ 共同研究

- ・長期耐用住宅木材利用技術高度化事業（住木センター受託事業）
- ・県営ドーム、かりこぼうず大橋等大型木造施設への技術支援
- ・スギ板合わせ材を用いた軸組構造体の開発
- ・スギ湾曲集成材の開発
- ・双子柱、LVLへの技術指導
- ・スギ高度乾燥技術開発

#### ④ 木材利用技術センターで開発された新技術



##### ○スギ合わせ材

スギ厚板（厚さ30mm、巾240mm等）を重ね合わせて木ダボ（イチイガシ等で作った接合具）で留め、柱・梁等の構造材に用いる技術。

合わせ材は、乾燥しやすい板材を使用し接着剤や釘を使わないので、家は解体しやすく再利用が可能です。

21世紀の新たな住宅として、地球環境保全の面からも大きく期待されている。

（ランバー宮崎、木協産業㈱との共同研究）



##### ○スギ単板を用いた深底トレイ

県産スギからスライスされた2枚の単板をそれぞれの繊維方向が直交するように重ね、ホットプレスで圧縮することにより接着剤を使用しない深底木質トレイを製造する技術。

原料としてスギを用い接着剤を使用しないで製造されているので、健康阻害物の放散の心配が無く食品用トレイとして安全であること、燃やせるゴミとして廃棄できることに大きな特徴がある。

（株式会社合電との共同研究）



##### ○湾曲集成材

本県産のオビスギの特徴である柔らかさや、粘り強さを生かし、従来よりも小さな曲率を持った湾曲集成材を生産する技術。

ヤング係数の低いスギの利用促進が図れるほか、筋かいが不要になることや、壁面の大部分を大きな窓にすることができるといった、住宅部材の新需要開拓が期待されている。

（丸十産業株式会社との共同研究）

## VII 今後の課題等

～資源循環型社会の構築に向けて～

### 1. 森林認証について

- ・国内では、三重県の速水林業、山梨県の県有林などが認証を取得している。
- ・県内では、平成15年3月に諸塚村において、FSC認証に向けた模擬審査会が開かれ、来年度の認証に向けて取り組んでいるほか、県有林についても森林認証取得に向け検討を行っている。
- ・FSC（森林管理協議会）  
平成5年設立、本部 ドイツ、・55ヶ国 34百万haの森林を認証（2003年2月現在）



諸塚村のモザイク林相



諸塚村 産直住宅

### 2. 木質バイオマス活用への取り組み

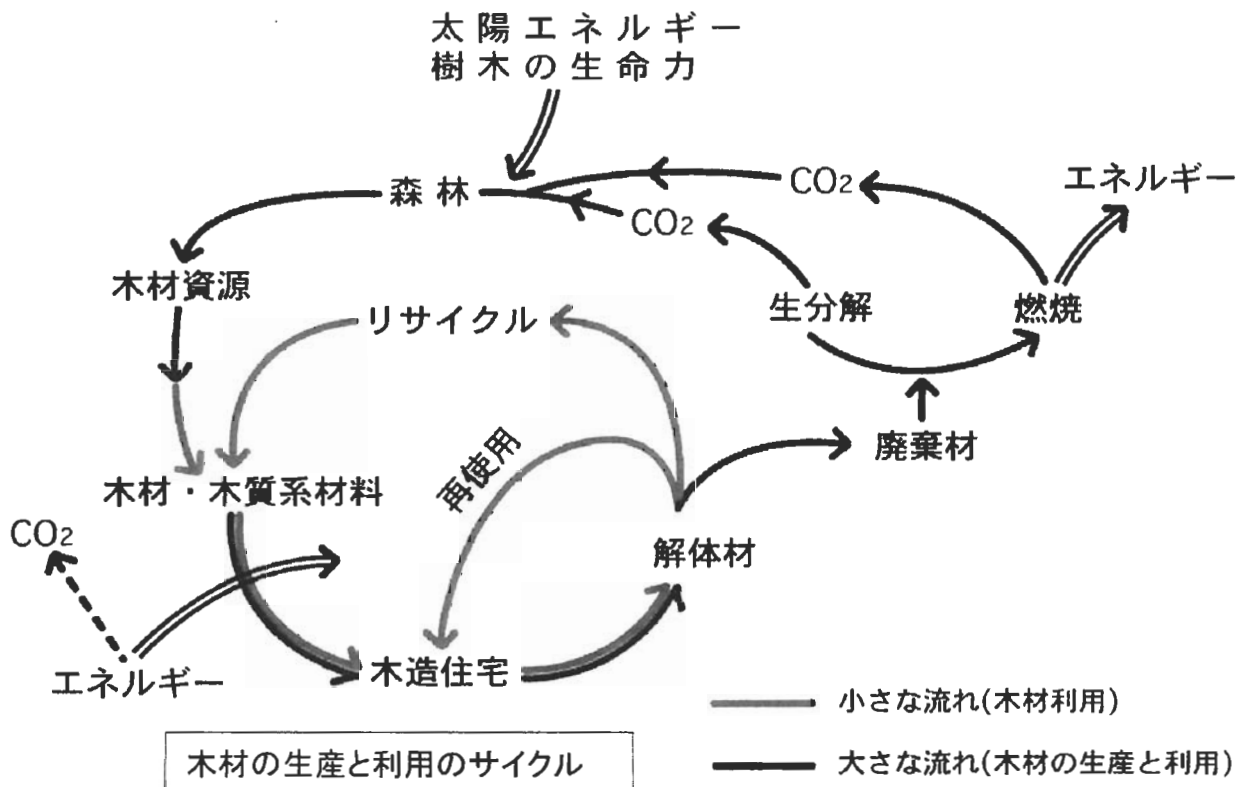
- ・地球温暖化の防止、廃棄物等の抑制、資源の循環利用に対する声が高まる中、化石燃料に代わるクリーンエネルギー源として、木質バイオマスの有効利用が強く求められている。
- ・このような中、林業生産過程で大量に発生する林地残材の殆どが放置されており、また、製材工場から発生する端材についても一部は焼却されている。このため、県では、廃棄物の抑制や資源の循環利用を推進するため、平成15年から2ヶ年間で、資源の有効活用の指針となるビジョンの策定に取り組むこととしている。
- ・製材業、集成材工場等においては、木材乾燥施設等の熱源として木屑焚きボイラーが導入され、端材等が有効利用されている。
- ・現在、製材廃材等をボイラー施設で燃焼させて、これにより発生した蒸気を木材乾燥施設の熱源や工場に電源を供給する発電施設に利用するバイオマス施設を備えた、大型集成材工場の整備を進めており、来春に本格稼働する予定であり、年間約2万1千tの木屑等进行处理することができる。

### 3. 国産材供給基地を目指す本県の課題

○本県では、これまで森林の造成、生産基盤や加工体制の整備を進めてきた結果、年間の素材生産量が100万m<sup>3</sup>を超え、国産材供給基地としての位置づけを確立しつつあるところである。

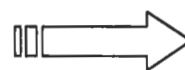
#### 課題

- ① 近年の社会経済情勢の影響から材価が低迷をつづけ、再造林の経費が十分確保できない状況がある。
- ② 本県にとっては、伐採→造林→保育→伐採→・・・の資源循環型の林業の構築に向けた取り組みが緊急の課題である



③

- ・再造林対策
- ・育林体系(伐採平準化への施業体系)



新たな財源の確保

# 木製ガードレールの動向 - 強度について -

森林総合研究所 神谷文夫

## 1. はじめに

地球環境問題が大きくクローズアップされる昨今、木材の土木関係の様々な利用が検討されている。中でも防護柵（ガードレール）への利用は、平成10年に防護柵の設置基準が性能規定化され、性能試験に合格すれば、木製であっても設置できるようになったことから、民間や国の事業で積極的な開発が行われている。

ここでは、防護柵の設置基準に規定された木製防護柵の要求性能、国家予算や県予算で行われている、あるいは行われた開発プロジェクトを中心に紹介し、開発に係わる技術的問題点等や今後の課題について述べる。

## 2. 防護柵の設置基準

旧建設省より道路局長通達として出されている防護柵の設置基準<sup>1)</sup>は、道路管理者等（国、県、市町村、公団等）を対象に、防護柵を適正に設置するための技術的基準を示したものである。これは、われわれの馴染みのある建築基準法のような法律ではない。建築基準法は、民間の建設行為を対象としているが、防護柵の設置基準は、道路管理者である行政の建設行為を対象に、行政自らが作成しているといえる。

設置基準によると、防護柵には「車両用防護柵」と「歩行者自転車用柵」とがあり、それぞれは、設置する場所等によってさらにいくつかの種類に分けられている。設置基準は、そうした種類毎に必要な強度的性能等を規定しており、「車両用防護柵」は2つの衝突試験により（ただし、鋼製防護柵のように性能が確認されている仕様の場合は部材試験に代えられる）、「歩行者自転車用柵」は主

として構造計算により性能を確認することとなっている。

車両用防護柵には、用途によって路側用、分離帯用、歩車道境界用の種別があり、それぞれには、さらに強度（道路の種類や設置場所による）の種別がある。現在開発が行われている木製防護柵は、高速道路と自転車専用道路以外の道路（いわゆる一般道）の路側用で設計速度60km/h以上のB種（一般に国道用）と、50km/h以下のC種（一般に県道用）の2つである。

合格すべき衝突試験は、表に示すように、強度を確かめるために25トントラックを衝突させる条件A試験と、乗員の安全性を確かめるために1トン乗用車を衝突させる条件B試験の2つから成っている（図1参照）。

## 3. 木製防護柵開発プロジェクト

現在、国家予算で行われている開発プロジェクトには次の2つがある。

(1)林野庁補助事業「人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業」

(社)日本木材加工技術協会が受託し、B種木製防護柵、公園用木製柵、木製遮音壁の開発を目的としたH11～15の技術開発事業<sup>2, 3)</sup>で、委員長は喜多山繁・東京農工大教授で、B種木製防護柵の分科会委員は、国総研でこの分野の第一任者である安藤和彦・主任研究官、八千代エンジニアリング（コンピュータシミュレーション担当）、日鉄建材（支柱担当）、木材防腐協会（防腐担当）、筆者（木構造担当）等である。

当初の3年間は、主としてコンピュータシミュレーションを行い、その結果を基に、14年末に、

表1. 衝突条件と要求性能

条件	方法	防護柵種別	衝突速度 (km/h)	強度 (kj)	各条件に対する要求性能 注)		条件A,Bに共通の要求性能
					支柱を土中に埋め込む場合	支柱をコンクリートに埋め込む場合	
条件A	25トントラックを角度15度で衝突させる	B種	30以上	60以上	最大進入行程が1.1m以下	最大進入行程が0.3m以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両は横転しないこと</li> <li>・離脱速度は衝突速度の6割以上</li> <li>・離脱角度は衝突角度の6割以下</li> <li>・構成部材が大きく飛散しないこと</li> </ul>
		C種	26以上	45以上			
条件B	1トン乗用車を角度20度で衝突させる	B種およびC種	60		車両の受ける加速度が90m/sec <sup>2</sup> 以下	車両の受ける加速度が120m/sec <sup>2</sup> 以下	

注) たわみ性防護柵の場合

本稿は「木製防護柵開発の動向」（木材保存 Vol29-2, 2003）をリライトしたものである。



図1. トラックを衝突させるA試験

図2示すような支柱を鋼管、ビームをスギ丸棒2本とする基本設計を行った。その後、接合部のディテール案をいくつか作成し、接合部の静的強度試験を行って最終的なディテールを決定した。トラックの衝突実験は14年度末、乗用車の衝突試験は15年度始めに実施され、両方ともパスすることができた。

#### (2)高千穂バイパス木製防護柵技術委員会

国土交通省九州地方整備局延岡工事事務所が、間伐材等の木質資材の利用を目的として、(財)土木研究センターへ依頼して設置された委員会では、B種防護柵を開発し、当面高千穂バイパスに設置することを目標としている。

技術開発の中味は、木製防護柵として初めて公

式試験に合格した民間(和光コンクリート)のC種防護柵を改良してB種とし、併せて管理手法を作成することである。委員長は中澤隆雄・宮崎大学教授で、委員として先述の安藤和彦主任研究官ほか、(財)土木研究センター、宮崎県、宮崎県木材利用技術センター、木製防護柵協会、筆者らが参画している。仕様は、図3に示すようにコンクリート支柱に長さ2mのスギ丸棒2本を渡したもので、すでにB種の公式試験を合格し、高千穂バイパスに設置された。また、委員会では、維持管理マニュアル案を作成している。

#### (3) 地方行政庁の動き

いくつかの県で、木製ガードレールの開発が行われようとしている。長野県では、15年度に7000万円の県予算にて、「信州型木製ガードレール開発事業」を開始した。内容は、民間からの提案をつのり、採択された提案に対して助言・指導により最終設計を行い、衝突実験にパスさせようというものである。助成は、助言・指導(部材、接合部の静的強度試験、コンピュータシミュレーション)の他に、試験費用の補助1000万円である(試には約2000万円が必要)。

技術審査委員会が設置され、筆者と先述の国総研・安藤和彦主任研究官のほか、武蔵野美術大学・柏木教授、長野県工業試験場・酒井システム技術部長、信州大学・武田助教授、長野県林業総合センター・橋爪木材部長が委員を委嘱された。

11件の応募中5件が採択され、逐次、実車実験を開始する段階に入りつつある。

#### 4. 海外の状況

欧州や北米においても、日本と同様な衝突試験による検証を核とする設置基準がある。北米やオセアニアでは、ビーム型防護柵のビームは鋼製であっても、支柱は木製が一般的である。

ビームを木製とする防護柵では、フランスのTERTU4)が、図4に示すような木製の丸棒にC形鋼を組み合わせたビームと支柱からなるシステムを開発し、1.5トン乗用車を20度110km/hで衝突させる欧州規格に合格して、これ迄約10年間で延べ約3000kmを設置している。また、研究段階であるが、オランダTNO木材研究センターでは、ユニークな形状の中央分離帯用の防護柵が開発中5)である。アメリカでは、木橋の開発プロジェクト6)において、ビームを木製とする橋

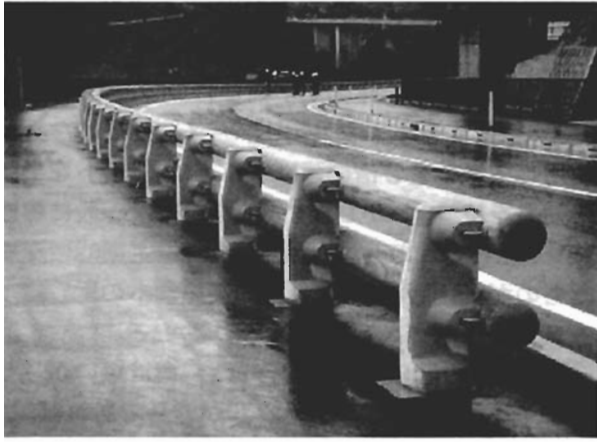


図2. 高千穂バイパスの木製ガードレール

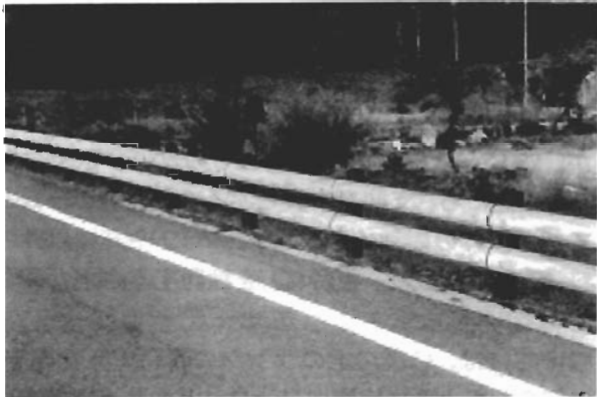


図3. 木材加工技術協会型木製ガードレール



図4. フランスTERTU社の鋼材補強ガードレール

梁用防護柵が開発され、2トンのピックアップトラックを25度、100km/hで衝突させる試験に合格している。

以上を見ると、日本で現在開発中の、木材だけのビームによる木製防護柵は、パイオニア的存在であり、これらのプロジェクトを成功させることは非常に意義が大きいと考えられる。

## 5. 木製防護柵の強度的問題点

先述した2つのプロジェクトにおけるコンピュータシミュレーションや、衝突試験のデータ等を解析することによって、木製防護柵の構造メカニズムが徐々に明らかになってきた。

一般に防護柵には、構成部材の塑性変形を見込む「たわみ性防護柵」(鋼製ビーム型防護柵など)と、弾性範囲内の変形に留める「剛性防護柵」(コンクリート防護柵など)があるが、木製防護柵は基本的に前者に位置付けられるようである。

しかし、鋼製ビーム型防護柵が、曲げに対する抵抗力が低く、衝突により直ちに曲げ降伏してロープのように引張で抵抗するメカニズムであるのに対して、木製ビームは曲げ剛性が高いため、衝突時に大きな曲げ応力が加わることとなる。木製防護柵は、曲げ強さが全てと云っても過言でない。また、ボルトなどによるビーム間の接合部は変形しやすいので、防護柵全体は一体とならず、抵抗するのは、衝突のあったビームのユニットと、せいぜいその隣のユニットぐらいである。なお、支柱及びビームの接合部には、大きな変形を生じることによってエネルギーを吸収し、これによってビームに加わる曲げ応力が緩和される効果がある。

注意すべきは、衝突時における2次応力である。変形が大きいために、接合部の2次応力に対しては要注意である。また、トラックには運転台のステップやタイヤホイールの出っ張りなどがあり、これが木製ビームを削ったりビームの接合部につかかたりする。さらに、ビームを上下2段に設けていても、支柱の倒れ込みなどがあり、2本のビームがそろって抵抗してくれるとは限らない。以上の現象は現在のシミュレーションプログラムでは考慮できないので、知恵を使って最善の工夫をする必要がある。

強度の方は、断面を太くしたり、支柱間隔を狭めることで対応できないことはないが、高千穂バイパスのプロジェクトでの最大の難関は、条件Bの試験における車両(つまり乗員)が受ける加速度であった。木(ビーム)と鉄(車両)の摩擦係数は鉄(ビーム)と鉄(車両)のそれより高いため、衝突時の加速度が大きく、それを合格水準値以下にするために試行錯誤が繰り返された。ビームを強く(太く)すれば加速度は大きくなるので、衝突条件Aと衝突条件B

の2つの試験は相反するところがあり、両者のかね合いが設計の重要ポイントの一つのようである。

## 6. 木製防護柵用ビームの品質管理

木製防護柵に使用する原木、丸棒は、品質検査を行う必要がある。スギは、建築構造用途では、ヤング係数の低いことがしばしば問題となるが、幸いなことに、ヤング係数の低いことは、防護柵のビームとしては問題にならない。ビームの曲げ変形は、支柱の変形よりはるかに小さいからである。従って、品質管理では、一定以下の強度の材を除けばよく、比重、年輪幅、超音波などが指標として使えそうである。

最も重要なのは、防腐防虫処理である。処理前に天然または人工乾燥によって含水率を一定値に落とし、ボルト穴等の加工は予め行う必要がある。処理工程の管理と処理後の検査は不可欠である。

## 7. これからの課題

木製防護柵の潜在的市場は非常に大きい。これをモノにするかしないかは、日本のこれからの林業を左右するほどの影響力があるかもしれない。今は、まず第1号が登場したばかりで、コスト低減をはじめとしてこれから解決すべき課題は山積している。

(1) 維持管理手法の確立 木材を建築に使用する場合、耐久性については設計・施工時にしかるべき配慮がなされても、完成後の維持保全管理がなおざりにされることが多い。しかし、木製防護柵では設置後の定期点検、補修、交換は設計以上に重要となろう。和光コンクリートでは、これ迄に施工した延べ36.6kmの約2000本のビームについて劣化度調査（森林総研提案による目視で0～5に判別する方法）と抜き取りによる強度試験を行い、既に劣化度と強度との関係を把握している。しかし、点検は外観だけでなく内部腐朽についても必要であり、器具・機械を使った内部の点検方法の確立が急務である。

高千穂バイパスのプロジェクトでは、設置後の維持管理方法を示した指針が作成されることとなっている。本格的な外構部材の維持管理は、我々がほとんど経験したことのないアイテ

ムである。高千穂バイパスでは、これを実践・研究の場として研究機関が協力して、維持管理手法の確立に向けて努力していく体勢が準備されつつある。

(2) 耐久設計とリサイクル・リユース 効果的な薬剤を使用して寿命を2倍に延ばすことは、コストを半減する効果を持つ。しかし、効果的な薬剤は一般に毒性が強く、廃ビームの処理が困難となる。定期的に交換したものが、日曜大工店で人気の高い枕木のようにリユースできればベストである。

一方、毒性の低い薬剤を使うと、寿命は短いがリサイクルが可能になる。リサイクルが容易であれば、コストを下げる効果がある。極端な方法は、耐久性の高い心材部分だけで強度設計し、無処理で使用して短期間でリサイクルさせることである。

(3) 最適設計 現在開発中の木製防護柵は2タイプ（ビームは丸棒。支柱はコンクリート又は鋼管）であるが、コストや構造的に最適のものという訳ではない。この他にも、支柱を木製とする方法や、ビームとしてスギ以外の樹種（例えばカラマツ）や丸棒以外の材料（例えば集成材、複合材）を検討する余地が残されている。

強度的には、C種の上のランクの開発もあり得る。既に紹介したように実際にヨーロッパや北米では実用化されている。なお、様々なタイプの木製防護柵を開発する中で、木製防護柵の強度メカニズムを解明して、鋼製防護柵のように、部材の強度試験と仕様だけで設計が行えるようにしたいものである。

(4) 連携 木製防護柵には、多方面から関心が集まっている。開発はまさに始まったばかりである。何よりも、林野庁、国土交通省、地方行政庁、独法研究機関、公立研究機関、大学、木材業界、土木業界等、各方面の連携を望みたい。

## 参考文献等

- 1) 防護柵の設置基準・同解説、日本道路協会、平成10年11月
- 2) 人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業 平成11年度成果報告書、日本木材加工技術協会、平成12年3月
- 3) 同上、平成12年度成果報告書、日本木材加工技術協会、平成13年3月
- 4) <http://www.tertu.com>
- 5) Valeria Antonelli et al. "The Development of a Timber Guardrail for Highways", Proc. for World Conference on Timber Engineering, Malaysia, 2002, pp52-59.
- 6) <http://www.fpl.fs.fed.us/wit/witllst.htm>

験値の3倍となった。また、No.4の横梁は5年経過時点で10kNまでしか荷重が出来なかった。その後は、腐朽により形がくずれたため、荷重試験が不可能であった。図1および図2の結果より、防腐処理がスギ丸太材の耐腐朽性の改善に大きく寄与していることがわかった。

## 2. 2 野外調査

野外被害度調査は平成6年～平成10年に宮崎県内に設置した木製ガードレールを対象に行われた。木製ガードレールの支柱が鉄筋コンクリート製なので、耐久性は横梁として使用したスギ材より優れているので、調査対象外とした。

図3に平成12年1月から6月までに調査した1986本の横梁の被害度を示す。これらの横梁は全て宮崎県産スギ材から加工した直径180mmの丸太を加圧防腐処理したものであり、平成6年から平成8年までに宮崎県内の林道に設置された。

図4に平成7年に同じ場所で設置した横梁の表面に撥水性塗料を施した場合の被害度の調査結果を示す。図3に示した平成6年～8年に設置された木製ガードレール横梁1986本の耐腐朽性調査結果より、設置5～6年を経過した後、約1%の横梁の被害度が4であった。98%以上の横梁は正常な使用性能を有していることがわかった。また、横梁の表面に撥水塗装を施した場合の被害度は他の横梁より小さいであったことが判明した。

野外被害度調査結果と経年した横梁の強度を把握するために、被害度1と被害度4に評価された横梁の静的曲げ試験を実施し、図5に試験結果を示す。被害度1の横梁は木製ガードレールとして要求される使用性能を十分に満足していることが確認された。被害度4の横梁の平均最大曲げ破壊荷重は被害度1の横梁の平均最大曲げ破壊荷重の約6割であり、交換する必要があると考えられる。平成13年の調査では目視による被害度評価のほかに、汎用試験計測器であるピロディン木材

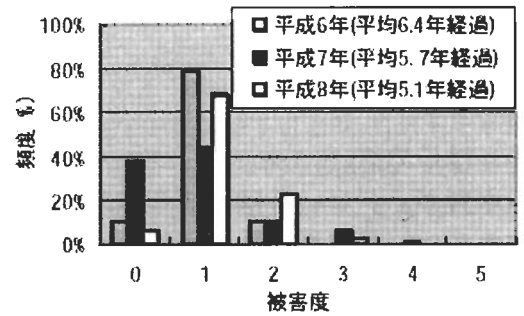


図3 横梁被害度調査結果(1986本)

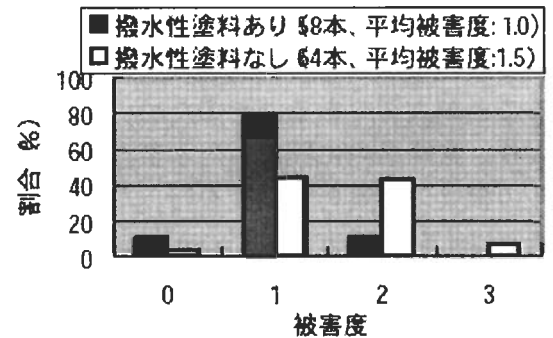


図4 撥水性塗料の防腐効果

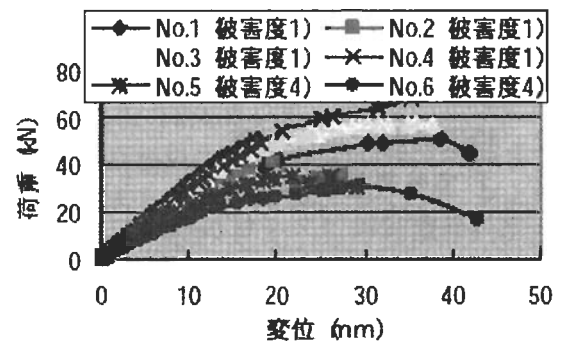


図5 被害度1と被害度4の横梁曲げ試験結果

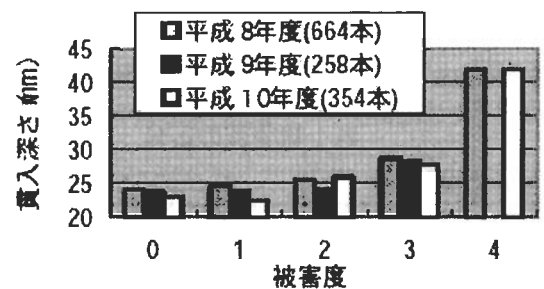


図6 ピロディン貫入深さ測定結果

試験器による貫入深さ測定を行った。ピロディン木材試験器のピンの貫入は木材の密度及び品質によりかわるので、得られた貫入深さより、木質構造物の強度の減少量がある程度客観的に推測できると言われている。調査の対象は平成8年～平成10年に設置された木製ガードレールの横梁計1276本とした。

図6に年度ごとのピロディン木材試験器による各被害度の貫入深さ平均結果を示す。この図から被害度4の横梁の貫入深さは40mm以上で、ほかの横梁の貫入深さより10mm以上大きいことがわかった。ピロディン木材試験器は横梁の耐腐朽性調査、特に被害度4程度になった横梁の判定に有効であるといえる。

### 3. 経年横梁の実車衝突試験

平成13年3月に、経年横梁の防護柵としての強度特性を確認するために、6年経過した木製ガードレールの横梁を対象に、大型貨物車による実車衝突試験を行った。試験に用いた横梁は既設の路線から外したもので、平均被害度調査値は1.05であった。

衝突試験での大型車の衝撃度54kJで、種別C種防護柵の衝撃度規格45kJの1.20倍であったが、衝突車両は安全に誘導され、経年横梁の強度特性が確認された。

### 4. まとめ

一連の調査および実車衝突試験結果より、設置後4年～6年を経過した木製ガードレール横梁の98%以上は使用性能を有していることが確認された。被害度4になった横梁は約1%で、これらの横梁のピロディン貫入深さは著しい増大しており、しかも最大曲げ破壊荷重は30kN位で、交換する必要があると思われる。また、横梁の表面に撥水塗装を施すことは効果的であることがわかった。

今回の調査結果をもとに、木製ガードレール用横梁の防錆加工基準および維持管理仕様を作成し、木製ガードレールの適正な機能を維持するための日常点検および定期点検の判断基準と処置方法を示した。その中に、横梁の点検は目視を中心とする方法になっている。ピロディン木材試験器は横梁の耐腐朽性調査、特に被害度4程度になった横梁の判定に有効であるが、被害度0～3の貫入深さは、測定値のばらつきが大きいので、被害度との間にはっきりした相関が見られなかった。

今後は木製ガードレールの特徴を考慮し、木材の腐朽度をより定量的かつ客観的に表せる判断方法の開発に取り組む必要があると思われる。

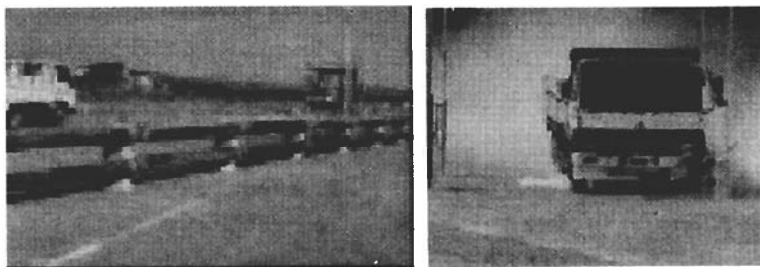


写真1 経年横梁の実車衝突試験(左:設置状況、右:衝突時)

## 木造ドームの動向

宮崎県木材利用技術センター  
飯村 豊

### はじめに

ドーム構造は、究極の構造とも言われ、無駄を排し、合理性を追求してこそ、洗練された構造物になるとされている。

木造のドームも、高度な部材の製作技術、多くの機能を満足させる接合金物の製作技術、そしてコンピュータ・テクノロジーのすべてを駆使して初めて合理的な構造体が可能になる。

木造ドームはこれまでに数多く建設されてきたが、最近は大空間を覆うという基本的なドームスタイルから、多目的な利用を可能にする高度・多機能なドームへと進化している。

現在、宮崎県は軽軟な材質特性を持つ地域材スギを利用して集成材ドームを建設中である。ドーム建設に当って、従来のドーム技術の基本は踏まえながらも、更なる進化に向けて、従来の設計・製作・施工を見直し、新しい提案を積極的に取り入れながら、地域材利用のシステム技術構築に取り組んでいる。

本稿は木造ドームの動向について、1. 変遷する木造ドーム、2. 宮崎県が取り組んできた木造ドーム、3. 宮崎ドームの特徴、4. 今後への期待、としてまとめている。

### 1. 変遷する木造ドーム

#### (1) 木造ドームの歴史

木造ドームの位置付けと歴史について簡単にまとめてみたい。英国の Philip O Reece<sup>1)</sup> は、1985年の著書「TIMBER IN CONSTRUCTION」の第6章「Development of modern timber structures」で、世界の木造について、構造形式別に対応スパンをまとめている。その中で Reece 氏は、編み目状のドームのみが 100m の壁を破ることができ、アーチ構造は 90m 止まり、ボーストリングガーダー構造でも 60m まで、シェルは 45m まで、単純梁では 30m までが

それぞれの形式の限界とした。

100m を超えた世界最初のドームは、1978 年に建設された米国アリゾナ州北アリゾナ大学の「スカイドーム」で、直径が 152m であった<sup>2)</sup>。それ以前の最大スパンを持つ施設は、1964 年に建設されたフランスの「ジョワンビル屋内競技場」で、スパンが 89m の集成材アーチ構造<sup>3)</sup> であった。一躍 100m を超える網目状の「スカイドーム」が実現した背景には大スパンの設計・施工システムが構築されたことがある。

そのシステムを開発したのは、米国オレゴン州の木構造のエンジニアリング会社、ウエスタン・ウッド・ストラクチャー社（略称 WWS）で 1972 年に当時最新鋭のコンピュータを駆使して開発に成功した。WWS 社は、1972 年 1 月に閉鎖されたティンバー・ストラクチャー社（略称 TSI）の営業責任者であったマーシャルターナー氏（2002 年に死去）によって創立された。1940 年代から 1960 年代に、TSI 社で築き上げた Rough Carpentry の技術（即ち Heavy Timber Construction、Glued-Laminated Construction、そして Wood Decking の技術）を継承・再興したティンバーエンジニアリングの専門企業である。その技術を簡単に説明する、中・大断面材をボルト接合する設計・施工技術とカーペンターがデッキを受け木に釘留めする技術を組み合わせ、さらにはコンピュータで得られた計算結果を裏付けにしたドームの合理的な設計法である。

創業を開始した 1972 年当時の米国はベトナム戦争終結後の景気後退期にあり、コスト競争が厳しさを増してきた時期であるという時代背景も重要である。

米国で WWS 社が建設した集成材ドーム第 1 号は、1972 年に完成したワシントン州シェルトン高校多目的体育館（直径は 49m）である<sup>2)</sup>。その後 1983

年には直径 162mのタコマドーム（写真1参照）、1994年には集成材構造の施設として世界最大を誇るミシガン州立大学の直径 163mのドームが建設されている。そうした実績の中には、立地条件が多雪地域（積雪 1.5m）や強風を受けやすい地域も含まれているが、今まで1件のトラブルも発生していないことから、本システムの完成度の高さが伺える。

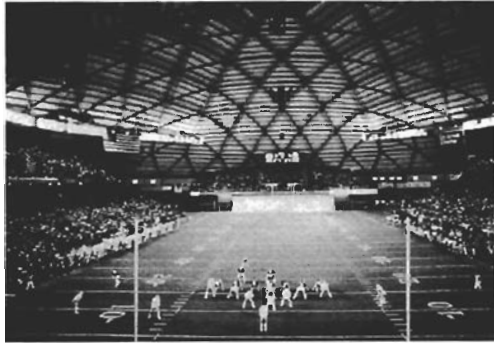


写真1. タコマドーム内観

北欧ノルウェーでは、1993年にリレハンメル冬季オリンピック施設としてハーマンホールスタジアム（スパン 96.4m）が完成している<sup>4)</sup>。このドームはシビルエンジニアが主となって構造設計したトラスアーチをティンバーエンジニアがサポートする形となっており、長スパン技術を世界に紹介するきっかけとなった。従来にないハイブリッド木造の可能性を示す事例としてわが国の建設業界、特に設計者に大きなインパクトを与えた。

## （2）わが国の木造ドーム

わが国では故飯塚五郎蔵博士設計の集成材建築物、「新潟県新発田厚生年金体育館（スパン 35mの3ヒンジ・アーチ架構、2002年に解体）」が1962年に建設されたのを最後に、20年以上にわたってそのスパンを超える集成材構造は建設されなかった。

そのスパンをわずかながら超えたのは1986年に建設された岩手県安代町の大規模集成材ドーム「田山体育館（略称安代町ドーム）」である。約四半世紀の技術的な空白を埋めて、このドームを実現するため米国の大規模集成材ドーム技術が導入された。

この実績は多くの専門誌や一般の媒体で紹介され、わが国における木造の可能性を木材関係者や建設業界に具体的に示すことになった<sup>5)</sup>。これ以降、木造ドームの歴史が始まったとも言える。

翌年の1987年には「空海ドーム」（直径 49m）が香川県坂出市に建設された<sup>6)</sup>。このドームは、従来の標準的なデッキ下地に屋根仕上げをするのではなく、テント仕上げとした。こうして木造ドーム技術は集成材・膜ドーム技術へと変遷し、1992年に出雲ドーム、1997年には大館樹海ドームの集成材大規模ドームが出現した。

また、製材による立体トラス構造のドームも開発され、1987年の小国ドームをはじめ現在建設中の埼玉県所沢市の体育館などがある。

## 2. 宮崎県が取り組んできた木造ドーム

### （1）ベイマツ（カラマツ）技術をそのままスギに

県内最初の大規模施設は「日南おびすぎドーム」である。建設規模は延床面積 1,780.55m<sup>2</sup>、最高高さ、12.95mで、屋根仕上げは金属葺きである。用途は町営の屋内運動場で、主にゲートボールとテニスでの使用を想定している。1999年6月に着工し、10ヶ月後の、翌2000年3月に完成した。総工費は2.6億円。

大断面集成材の供給および施工を請負ったのは1997年に設立されたばかりの実績の少ない工場であった。そのため、設計施工技術は、県外で多くの実績があるベイマツやカラマツのノウハウを拠りどころにしていた。

構造は断面 180×1320mm のスギ集成材を用い、最大部材長が 13.52mからなる6部材を縦継ぎして、51.70mに至るアーチ状の大スパンをかまぼこ形状に8連、5m間隔に並べている。継手部は片端が挿入鋼板 12mmを用いる 20φドリフトピン 42本と開き止めボルト M20 を2本使用している。つまり、集成材アーチ工法の特徴である部材を大きくして、部材数を減らし、接合箇所も少なくしている。架設足場なしに地組したアーチを大型建設機械で吊り起こして建て込む施工法である。このような従来の施工法で、低比重材の人工林スギで大スパンが可能なることを立証した（写真2参照）。

ただ、この施工法はベイマツ（カラマツ）技術をスギに置き換えたものであるため、スギ材の比重が低いことにより1本当たりの接合具耐力が 30%程度低下することを補うため、接合具本数を打ち増している。

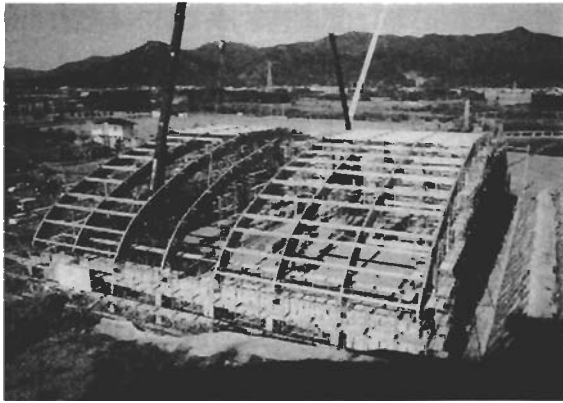


写真2. 建方を完了した「日南おびすぎドーム」



写真3. サンドーム日向の外観

その分、接合面積が増えて金物が大きくなり、重量も増える悪循環に陥っている。

## (2) スギ大規模木造技術の実績

宮崎県はプロ野球の春季キャンプ用屋内練習場を整備する必要から、高さや広さが要求される大型の屋内施設を建設することになり、スケールアップしたドーム技術が急遽求められることになった。

### ① サンドーム日向

宮崎県日向市を建設地とする「サンドーム日向」の設計は、「おびすぎドーム」が完成した2000年に開始された。設計は地元の設計事務所が請負った。スパン62.0m、最高高さ25.0m、延床面積が5,075m<sup>2</sup>と基準の3,000m<sup>2</sup>を超えることから、火災安全性能を立証する耐火検証法ルートBを適応することになった。万一の火災発生に備え排煙用の開口を天井近くに多くとるなど、大規模施設故に多くの設計要件を満たす必要があった。

ドームの形状は、ドームのライズ（集成材ドーム部の高さ）を高くし、スパン・ライズ比（スパン62mに対してライズは14m）を0.23とし、屋根梁は軸圧縮部材となるように設計された。

形式はアーチ構造とし、「おびすぎドーム」の技術を応用した形で長大材を使い、部材数を減らすアーチ構造の利点を生かしている。アーチが架かる木造部の建築面積当たり部材数は0.13本/m<sup>2</sup>で、「おびすぎドーム」の0.14本/m<sup>2</sup>にほぼ等しい（写真3, 4）。

なお、スパン62mのアーチの構成法は、断面150mm×1710mmの6部材を継ぎ手接合し、両端の部材は湾曲集成材としている。縦継ぎ接合部は日南おびすぎ



写真4. サンドーム日向の内観

ドームと同様の形式で、φ20 ドリフトピン 94 本、M16 ボルト 8 本と、大量の接合具を使用することになった（図1参照）。

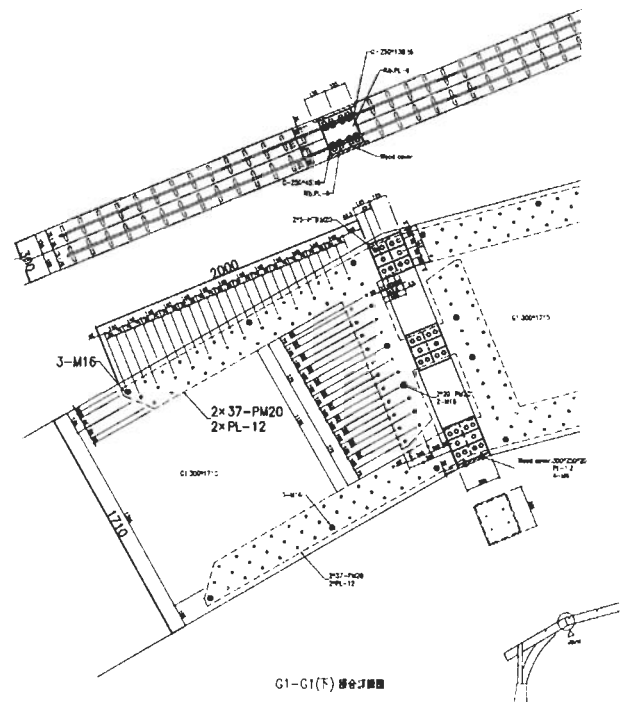


図1. アーチの継手ディテール

このように、スパンを拡大し高さを高くすると部材応力と接合部応力が大きくなり、ベイマツと比べて比重が低いスギはドリフトピン1本当当たりの耐力が弱いことから、接合具の数が増える。接合部の面積も大きくなるため金物面積と重量が増加し、それに伴うコストや組立手間も高む結果となり、大きな課題を残した。

しかし、こうした経験はスギの利用拡大のための一つのステップとして地域材スギの特性を生かす合理的なシステム技術の開発を促すきっかけとなった。

## ②南郷くろしおドーム

「南郷くろしおドーム」の建設地は南郷町で、「サンドーム日向」とほぼ同時期の2000年に設計が開始された。最高高さ25.0m、延床面積3,904m<sup>2</sup>の大規模ドームが県内の設計事務所によって、耐火検証法の下に設計された。建設地域にふさわしい景観配慮、デザイン上と排煙に対する大きな開口、そして通直材を多角形に組んでドームの外観とするなど、工夫を凝らした設計である。

ドームのスパン・ライズ比はサンドーム日向よりさらに大きく0.31である。曲げ応力を少なくすることで曲げ変形を抑え、曲げ弾性係数の低さをカバーしている。スギ構造用集成材フレームの断面は、サンドーム日向より小さく、2-150mm×1380mmと決められた。単位面積当たりの部材数はおびすぎドームやサンドーム日向の約倍の0.28本/m<sup>2</sup>と、複雑なドーム構造となった。建方の投入人工数も726人で、建築面積当たり0.201人/m<sup>2</sup>となっている。

南郷くろしおドームの建方精度はアーチ頂部を連結する棟木の下端を測定し、設計値に対する誤差は9mm、これはスパン60mに対し1/6,700であった。

この値はサンドーム日向の同1/2,000より高い精度であり、建方精度という観点からスギドームの組み立て易さを示す結果となった（写真5参照）。

## （3）合理性の追求とコスト縮減

上記の2つの大規模ドーム施設は、スギの利用の可能性を大きく広げることになった。しかし、大規模木造を受注したのは経験の浅い建設会社であったこともあって、集成材メーカーの責任施工が必要となり、スギ集成材構法として全体の合理性を追求する

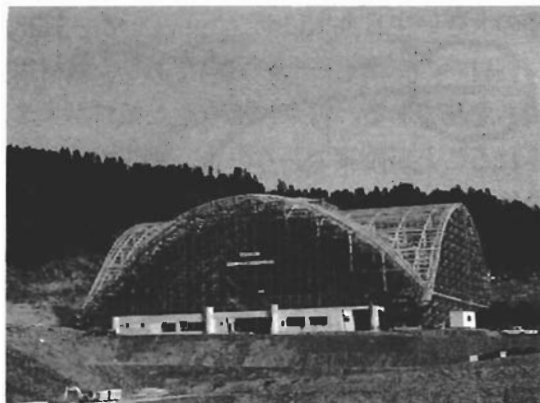


写真5. 建方を完了した「南郷くろしおドーム」

までには至らなかった。

つまり、スギ集成材という部材の供給者側だけの提案に頼って、設計性能を満足する施設を設計すると、集成材の量が過剰になり易いうえ、鋼材など他材料との合理的な使い分けも難しくなるなど、他構造と比べ割高な点が懸念された。今後の課題として、集成材構造のコストの市場競争力を付けるには、スギの特性を生かす新しい構法の研究開発が急務となった。

## 3. 県営ドームの特徴

上述した2つのドームは市と町の施設であり、宮崎県木材利用技術センターの役割は技術支援が中心であった。しかし、次に述べる（仮称）宮崎県全天候型運動施設（略称宮崎ドーム）は県の施設であり、県のスギ木造施設の今後を占うものとして、本プロジェクトに主体的に参画し、設計者や主管課の土木部営繕課と共に新しい構法の開発に当たった。

新しい構法とは、約13ヶ月の短工期で11,000m<sup>2</sup>の大規模ドームをコストを抑え、しかも宮崎スギの特徴を生かすものでなければならなかった。

### （1）低比重材の特徴

まず、木材資源状況と供給される木材の物性を整理した。

宮崎県ではスギ造林木の成長に伴い、年間平均成長量(MAI)は300万m<sup>3</sup>に及び、現在の伐採量が100万m<sup>3</sup>程度であることから、さらに利用を拡大して伐採量を増やす必要がある。

また原木の供給状況は、量的な供給が可能になると同時に、表1が示すように、原木は柱適材からさ

らに径の大きい中目丸太にシフトしている。柱材から板材製材への転換も一つの方向であり、板材需要の拡大も急務である。将来、そうした板材が大量に供給されることが確実である以上、集成材への利用は、今後ますます重要になろうとしている。

表1. 県森連市場の径級別スギ丸太取り扱い割合 (宮崎県森林連合会)

径級区分 (cm)	平成元年	平成13年	増減
3~6	3%	1%	-2%
7~10	63%	41%	-7%
11~13	19%	12%	-7%
14~16	27%	21%	-6%
18~22	24%	33%	+9%
24~28	37%	59%	+8%
30上	4%	9%	+5%
計	100%	100%	

しかしながら、南九州産のスギ材は生育が早いことから比重が低めである。図2に集成材用ラミナのヤング係数を多数 (2,330 体) 測定した結果を曲げ弾性係数 (ヤング係数) の頻度分布で示す。極めて変動が大きく (変動係数 38.7%)、またヤング係数そのものの値も低い (平均値 47.5 tonf/cm<sup>2</sup>)。

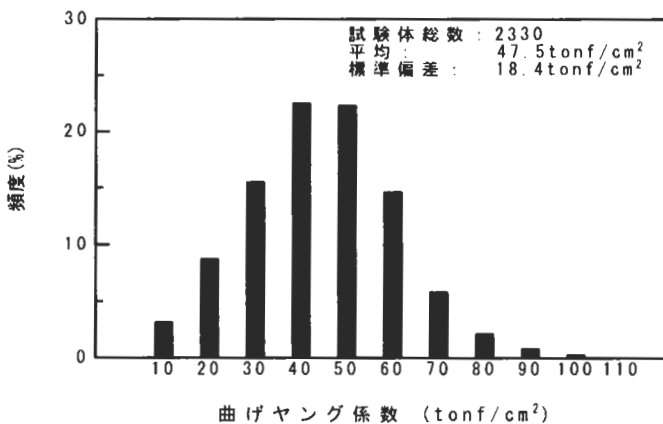


図2. 宮崎県南産スギMSRひき板の曲げヤング係数頻度分布

そうした人工林のスギを原料に造られる一般的なスギ構造用集成材は日本農林規格に定める強度等級が E65-F225 である。ベイマツ集成材と比較すると、曲げ弾性係数が 30% から 40% 程度低い。曲げ弾性係数が低い構造材は構造体に使われると、変形しやすい

いため一般的には使い方が難しい材料とみなされてきた。

現在の状況は、主にベイマツやカラマツの材の中比重材 (気乾比重 0.5 程度の材料を示す) の設計技術を前提にしており、比重 0.35~0.38 のスギ (ここでは低比重材と略す) を使用するには剛性や強度が低いだけに、断面をより大きくし、接合具も多数使用しなくてはならない。

そこで、地域材スギを構造材として使用するに当たり、設計に必要なデータを総合的に検討したのが表2である。気乾比重、曲げ弾性係数、圧縮、曲げ、引張り、せん断、めり込みの基本物性をベイマツ集成材と比較した。

表2. 基本物性の比較

	スギ集成材	ベイマツ集成材
強度等級	E65-F225	E105-F300
気乾比重	0.32	0.42
曲げ弾性係数	6.5 kN/mm <sup>2</sup>	10.5 kN/mm <sup>2</sup>
長期曲げ許容応力度	8.14 N/mm <sup>2</sup>	10.78 N/mm <sup>2</sup>
長期圧縮許容応力度	6.16 N/mm <sup>2</sup>	8.36 N/mm <sup>2</sup>
長期せん断許容応力度	1.10 N/mm <sup>2</sup>	1.30 N/mm <sup>2</sup>
長期めり込み許容応力度	2.2 N/mm <sup>2</sup>	3.3 N/mm <sup>2</sup>

スギ集成材の特徴が軽いことを基準にして、比重当たりの物性でベイマツ集成材と比較する。ベイマツを 100 とした時の割合をレーダーチャートに表すと、せん断はベイマツ集成材より優れており、圧縮、曲げ、引張りは同等であることが分かる (図3参照)。

この図3からは、スギ集成材はめり込み易いが、せん断に強い特徴があり、スギ固有の物性を生かした利用法が考えられる。

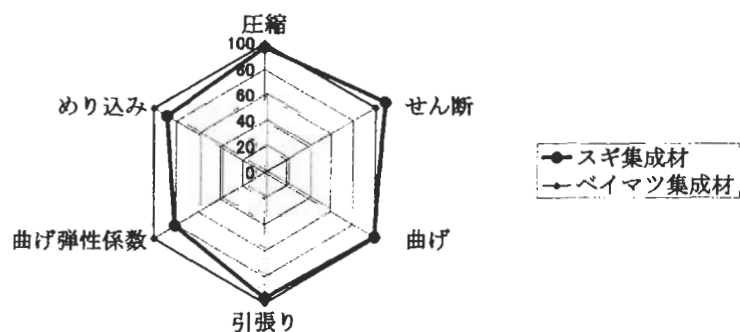


図3. 各物性を比重で割った数値の比較

接合についても、スギ集成材は比重を重視する接合よりも、むしろせん断強度やめり込み易さを生かした接合方式が考えられる。

## (2) 低比重材によるドーム構造の設計法開発

高さ約40m、スパン100mを超える宮崎ドームの設計は県外の大手設計事務所によって進められた。

設計と条件として、屋根構造は施設利用の面から集成材・膜構造とされた。複合構造における集成材構造の役割は、自重などによって生じる圧縮力を負担することにあり、一方、膜構造は膜の押さえケーブルが風荷重時の引張り力を負担することになる。こうした役割分担によって、県産スギの「軽くて圧縮に強い」特性が最大限生かされることになった。

最も重要な接合は、木材利用技術センターからの技術資料を基に、設計事務所と営繕課の三者で協議を重ね、従来にないスギの特性を生かした新しい構法を採用することになった。

その根拠となった考え方とそれを実証する実験は次の通りである。

### ① 接合に対する考え

現在に至るまで、わが国の集成材構造は、戦後独自の発展を遂げてきたとはいえ、実際は米国のベイマツ集成材技術を参考にしながら、中比重材を想定した構造技術に依存してきた。新しい構法は、気乾比重0.4未満の低比重材を前提とするもので気乾比重0.5を前提とした構法とは当然異なる。従って、実験結果等を重視しながら性能設計の考えを取り入れて接合設計をした。

### ② 実験等による合理性の検討

低比重材スギの特性である「めり込み易いがせん断に強い」ことを生かした接合法の実験結果を示したのが図4である。

図4の試験では、試験体は幅150mmのL50ラミナによる積層材。挿入鋼板は厚み12mm、ドリフトピンはSS400で24mm径4本を2行2列配列とした。加力方向の間隔は通常の7d (b-4dp, 7d) と5d (c-4dp, 5d) の2水準とした。鋼板の孔径は24.5mm、積層材の孔径の径差をマイナス1mmの23mmとした。試験装置は2000kN圧縮試験機を用い、加力は単調増加とし、変位測定は変位計を用い鋼板と積層材と

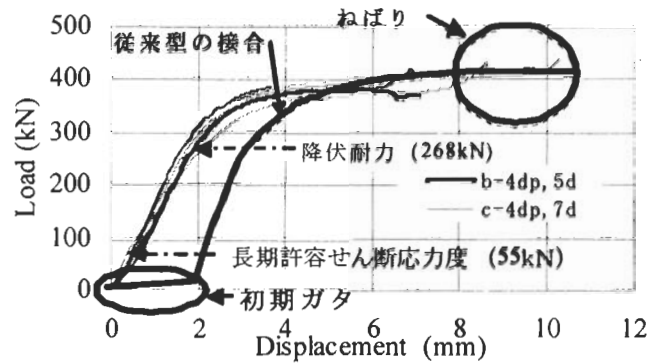


図4. 接合部せん断試験の荷重・変位曲線

の相対変位とした<sup>7)</sup>。

図4に示した実験結果からは初期ガタがなく、降伏耐力が7dと5dで差がないことが分かる(表3)。このことで、面積当たり多くの接合具が配列でき、接合効率を上げることが可能なことを示している。即ち、破壊は縦圧縮の塑性変形によって接合具間隔が狭まり、2面せん断耐力と等しくなったときに起こることになる。従って接合具間隔は用途や目的によって必要な塑性域から逆算して決めることができる。

表3. ドリフトピン1本当たりの降伏耐力(kN)

記号	1	2	3	平均	5%下限値
b	69.0	68.0	64.0	67.0	55.09
c	61.0	69.0	68.0	66.0	46.38

低比重材スギを用いる構法は、部材については中比重材とは異なり、比強度を重視した設計をすることで可能となる。例えば、軸圧縮を主体にスギ集成材を用いる場合、材の圧縮比強度がベイマツ集成材と同じであれば構造材の重量は同じとなる。さらに、接合部も接合具を狭めることで中比重材並みの大きさとなる。ドリフトピン間隔は5dとし、従来にない低比重材特有の接合ディテールとすることができる。

以上の結果を踏まえ、宮崎ドームの接合金物は設計者によって合理的にまとめられ(図5参照)、わが国初のスパン100mを超える単層(一層)網目状ドームが実現可能となった(図6参照)。

スギ集成材の新しい構法の合理性を示すため、過去に建設された大規模木造および2つのスギ集成材

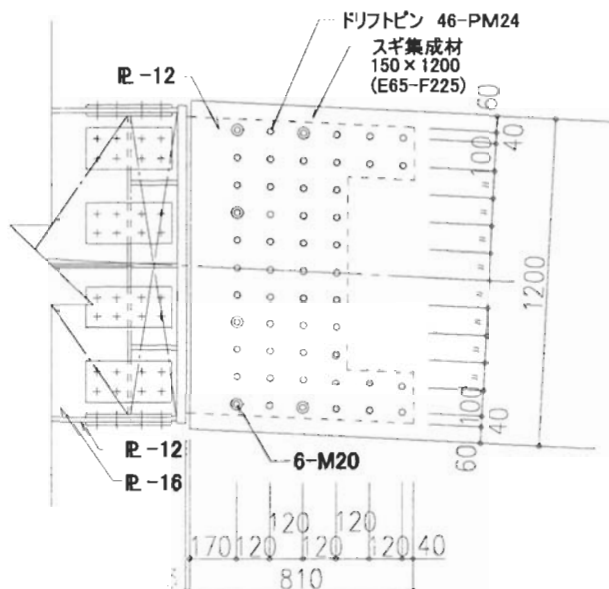


図5. 接合金物の接合具配置

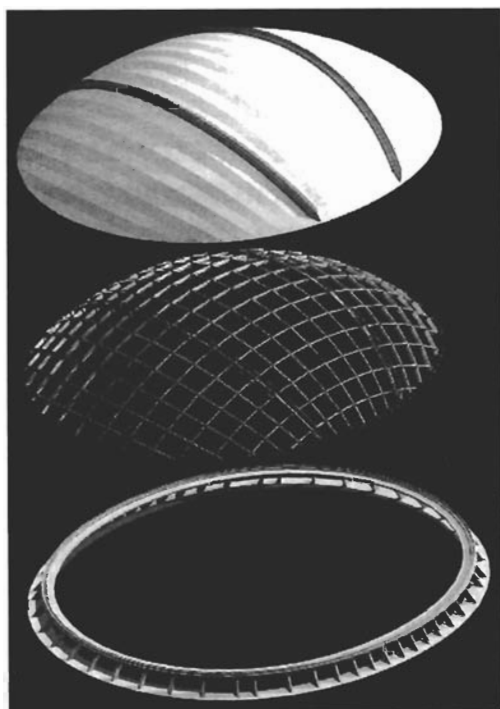


図6. 100mを超えた単層ドームイメージ図

ドームと宮崎ドームを比較する。図7は集成材の使用重量と接合金物重量を含めた総重量（ドーム総重量）を単位面積当たりの重量で示している。

宮崎ドームは、集成材ドーム部の面積  $10,966\text{m}^2$  に対して集成材重量が  $46.8\text{Kg/m}^2$ 、金物重量は  $40.3\text{Kg/m}^2$ 、総重量は  $87.1\text{Kg/m}^2$  である。床面積が大きくても、前述の「南郷くろしおドーム」や「サンドーム日向」より集成材と金物の使用量が抑えられている。

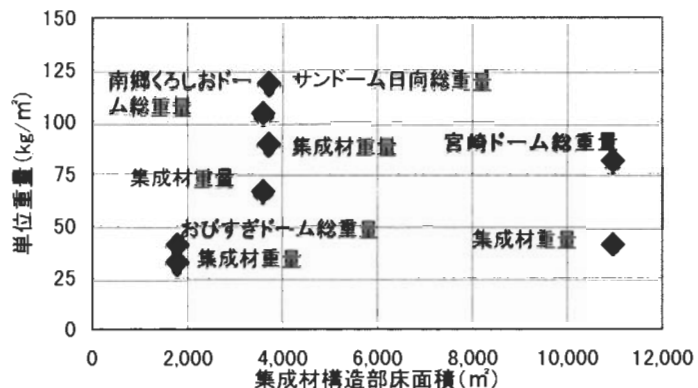


図7. 集成材構造部床面積と単位重量の関係

### (3) 新しい構法の導入に当たって

宮崎ドームは、スギの利活用を図るため新しい設計法（構法）が導入されている。新しい設計法の主要な点は以下のようにまとめられる。

- ①使用するスギの強度品質は県内で一般に流通する等級 E65-F225 で、集成材の製品幅 15 cm を基本とするなど、特別な集成材品質は使用していない
- ②経済設計を基本に掲げ、過大な部材断面とを回避している
- ③集成材構造は圧縮力を、膜構造の押さえケーブルは風荷重時の引張り力を負担する膜構造と集成材構造を組み合わせで、両者の特徴を生かす複合構造としている
- ④木造ドームの骨組みを圧縮系として使う狙いから、ライズ・スパン比を大きくしている

こうした新しい設計法は次のような新しい構法として現場に導入されることになった。

- ①集成材接合部はこれまでエポキシ樹脂などを充填してガタを防いでいたが、スギの柔軟性を生かして先穴との径差をマイナスとし、ドリフトピンを圧入ジベルとして使用することで組立部材の精度を確保する
- ②樹脂充填が不要になったことで、加工段階や建設現場での工数を合理化する
- ③現場では合成接着剤使用を極力抑え、環境面と解体の容易性に配慮する

また、新しい構法の導入に当たってはドーム工事の規模が大きいことから、作業環境の安全性重視、

現場の衛生管理、養生資材等の飛散防止、周辺での公園利用者対策、産業廃棄物処理などを現場施工に対して要求される重要事項として掲げられた。

さらには、宮崎県の要望により建方工事期間がドームの規模に対し、2ヶ月と極めて短くなったうえ、県が取り組む大きな課題の一つである公共施設のコスト縮減も図らなくてはならないという課題があった。

したがって、こうしたことに対応可能な工事体制と組織を整えることができ、しかも経験と実績が豊富な専門の施工業職が必要となった。

#### (4) 製作精度と建方

低比重材による新構法とも言えるこうした新しいシステム技術には不可欠な製作精度と建方について整理してみたい。

まず、このドームでは建方精度に対する基本的な考え方は、単層ドーム長辺のアーチ一連は18体の複合集成材と19個の接合金物によって構成される。接合部は複合集成材の両端に生じることから合計36箇所となる。しかも、網目状の交点に使用される接合金物は4材の複合集成材を連結することになる。ドームの建方精度を確保するために、プレハブ化する複合集成材の製作精度を従来にない高精度にすることが求められた。

最終的には表4に示したドーム仕様になり、JAS基準や社内基準とは別に定められた。許容範囲は複合集成材幅の設計値450mmに対して±2mm以内、材背の設計値1,200mmに対し同±2mm、複合集成材両端のドリフトピンの孔一孔間隔の設計値5,677.8mmに対し同±1mmとしている。

この新しい基準は、製作段階での工場検査で、問題なくクリアされていることが確認されている<sup>8)</sup>。

このドーム仕様が実現できたのは、材幅と材背に対しては高性能の大型プレーナー、穴開け精度はコンピュータ制御による自動穿孔機械などの整備によるところも大きい。

それに、低比重材スギは曲げ弾性係数が低く、複合化しやすいことも複合部材の精度向上に貢献している。

なお、ドリフトピン用の先孔は撃ち込み時の施工性を配慮して、マイナス0.5mm以下にした。

接合金物については、大手の専門鉄鋼メーカーが製作し、加工精度、穴開け精度共に±1.5mm以内となっている。

表4. 大断面集成材と金物の製作精度

	集成材製作		集積材加工	金物加工
	材幅	材背	孔一孔間隔	孔一孔間隔
	複合集成材幅	中央部	ドリフトピン	ボルト
設計値	450mm	1200mm	5677.8mm	930mm
JAS基準	±1.5mm	±5.0mm	±1.5mm	±1.5mm
社内基準	±2.0mm	±4.0mm	±5.0mm	±2.0mm
ドーム仕様	±2.0mm	±2.0mm	±1.0mm	±1.5mm

以上のような低比重材スギの新しい構法の建方に対する基本的な考え方は、専門職種による分業を採用し、現場での建方職種は大工職や大工鷹ではなく、精度管理技術を持った鉄骨工事の専門職種を前提とした。

したがって、建方が鉄骨系の技術者によって合理的に短期間で完了できるように、部材の複合度を高めるプレハブ化が進められた。

宮崎ドームの建方ピース（複合化部材）数を今までの大規模施設と比較したのが表5である。他の建方ピース（現場に搬入される部材数）と比べて宮崎ドームのピース数が0.043本/m<sup>2</sup>と、いかに少ないかがよく分かる。

建方は、以下のように整理され、まとめられていった。即ち、大量の部材を組む場合、先ず応力の大きい部材や接合部を最優先して正確に組み、最後は部材が疎となっているところで調整するという進め方である。つまり、本ドームの組み上げ方はテンションリングと絡む部材からはじめ、次第に頂部へとくみ上げる順である（写真6、7参照）。

以下にその具体的な順序を示す。詳しくは請負業者からの公表を待つことにしたい。

- ①地組フレームの長さ管理は、接合金物を含め設計寸法に対し±2.0mm程度であること
- ②地組を優先し、空中での作業を少なくするために、吊り足場を含め出来る限り多くの部材を主フレームに組み込む
- ③地組フレームと接合金物を結ぶ空中でのメタルジ

ョイントのボルト締めは仮締めとする

- ④建方補助用のベント構台での地組フレームの仮置き高さは、設計高さとする
- ⑤全フレームをセット完了するま仮支えは外さない
- ⑥ジャッキダウンは2回に分け、外周部から内部に向う（写真8参照）

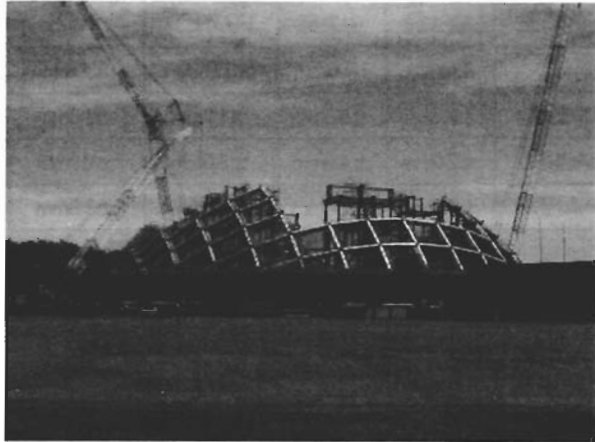


写真6. ドームの建方



写真7. ドーム建方の内観

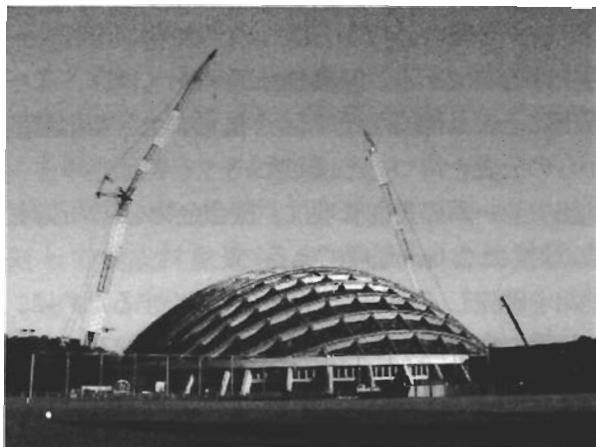


写真8. ドーム建方完了の外観

建方は、集成材部材の手直しをすることなく、予定の工程より早く完了し、しかも予定した建方精度を満足することができた。

#### 4. 今後への期待

ドームが究極の構造であるだけに、その時代に建設されたドーム技術とその背景は重要である。木造ドーム採用の動機は米国では低コストと省エネであったが、日本では木材資源あるいはシンボル性であったように思える。

米国で第1号ドームが誕生する1970年代は、集成材の本格的な生産が開始されてから約30年を経過し、各種構造物の建設実績も積み重なり、さらには集成材の強度品質の向上や接合金物の開発など、諸条件が整ったことで、集成材構造全体の信頼性が確立した時期でもあった。

宮崎の場合も短期間の内に各種条件が整備されたことから、宮崎ドームが実現しており、米国で網目状ドームが開発された時代背景にどこか似ていると言えなくもない。

それに、2000年の改正建築基準法では、性能を重視する合理的な構造設計と耐火性能検証法を組み合わせることで、集成材だけで構造と耐火の両性能を満足できるようになったこともドーム建設に拍車を掛けている。

このような状況下での宮崎ドーム建設には、地域材利用の視点に立脚し、低比重材、環境、循環、解体など新しい理念が加わろうとしている。

その意味でも本ドーム建設は、今後の可能性を広げる新たな挑戦のはじまりであろう。

最後に、本ドームの開発に当たっては、建設の推進役である宮崎県土木部営繕課、設計・監理を担当する株式会社大建設、請負者である戸田建設株式会社をはじめ関係者の方々に、協力をいただいたことに感謝申し上げる次第である。

来春の竣工時には、利用者や見学者が木造ドーム独特の質感とくつろぎや癒しを提供する空間の素晴らしさを是非味わっていただきたい。

(2003年9月28日)

表5. 県内の大規模施設の概要

	おびすぎドーム	サンドーム日向	南郷くろしおドーム	宮崎ドーム(仮称)
発注者	日南市	日向市	南郷町	宮崎県
施工期間	1999年6月 -2000年3月	2001年3月 -2002年1月	2001年3月 -2002年6月	2002年12月 -2004年1月
設計者	浜田設計	(株)近藤設計	(株)別当設計	(株)大建設計
施工者	大日・外山建設JV	間・辰建設JV	竹井・河野建設JV	戸田建設
工事費	263,550,000円	1,070,000,000円	727,097,000円	3,120,190,000円
延床面積	1766.99m <sup>2</sup>	4809.60m <sup>2</sup>	3903.60m <sup>2</sup>	11,463m <sup>2</sup>
工事費/延べ面積	149,000円/m <sup>2</sup>	222,000円/m <sup>2</sup>	186,000円/m <sup>2</sup>	272,000円/m <sup>2</sup>
木造部床面積	1,780.55m <sup>2</sup>	3,720m <sup>2</sup>	3,600m <sup>2</sup>	10,966m <sup>2</sup>
最高高さ	12.95m	25.00m	29.77m	38.00m
RC壁高さ	3.10m	7.00m	7.50m	7.10m
木造部最高高さ	12.95m	25.00m	26.28m	38.00m
木造部高さ	9.85m	18.00m	18.78m	30.90m
屋根仕上げ	ガリバリウム鋼板	カーステルス+テフロン膜	ガリバリウム鋼板	テフロン膜
スパン(短径)	51.70m	62.00m	60.00m	104.1m
桁行長さ(長径)	34.44m	60.00m	60.00m	123.6m
主断面(集成材)	180mm x 1,320mm	150mm x 1,710mm	2-150mm x 1,380mm	2-150mm x 1,200mm
集成材 本数	255本	478本	992本	2,868本
材積	153m <sup>3</sup>	873m <sup>3</sup>	633m <sup>3</sup>	1,350m <sup>3</sup>
重量	58.4t	331.7t	240.6t	513.0t
本数/面積	0.14本/m <sup>2</sup>	0.13本/m <sup>2</sup>	0.28本/m <sup>2</sup>	0.26本/m <sup>2</sup>
材積/面積	0.086m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.235m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.175m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.123m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
重量/面積	32.8kg/m <sup>2</sup>	89.2kg/m <sup>2</sup>	66.8kg/m <sup>2</sup>	46.8kg/m <sup>2</sup>
金物 重量	14.7t	108t	134t	443t
重量/面積	8.3kg/m <sup>2</sup>	29.2kg/m <sup>2</sup>	37.2kg/m <sup>2</sup>	40.3kg/m <sup>2</sup>
総重量/面積	41.1kg/m <sup>2</sup>	118.4kg/m <sup>2</sup>	104.0kg/m <sup>2</sup>	87.1kg/m <sup>2</sup>
ピース数 本数	—	—	—	478
本数/面積	—	—	—	0.043本/m <sup>2</sup>
建方人工 人工数	—	—	726人	約1,000人
人工数/面積	—	—	0.201人/m <sup>2</sup>	0.091人/m <sup>2</sup>

## 参考文献：

- 1) Philip O Reece : "TIMBER IN CONSTRUCTION", Timber Research and Development Association, 104, (1985)
- 2) 飯村豊：「集成材ドーム技術 米国から導入」, 建築士と実務, 9(11), オーム社, 45-50(1986)
- 3) 今川憲英, 岡田章：「木による空間構造へのアプローチ」, 建築技術, 452(3), 154-156(1989)
- 4) 雨宮睦男：「北欧の集成材建築とリレハンメル五輪」, ヘビィティンバー, 3-3(10), 70-79(1993)
- 5) 日経アーキテクチュア：「米国生まれの安代ド

ームが24年ぶりにスパン記録更新」, 1987年1月26日号, pp72-78.

- 6) 新建築社編集：「イベントプラザ」, 5, 1988, pp. 202-204.
- 7) 飯村豊, 荒武志朗, 田中洋, 栗田進, 大塚哲也：「スギ集成材による単層網目状ドーム」, 日本建築学会研究報告九州支部 第42号-1, 構造系, pp. 273-276
- 8) 戸田建設(株)九州支店編：「宮崎県全天候型運動施設(仮称)建設主体工事 構造用集成材金物取付検査報告書」, (2003)

宮崎県全天候型運動施設（仮称）建設主体工事



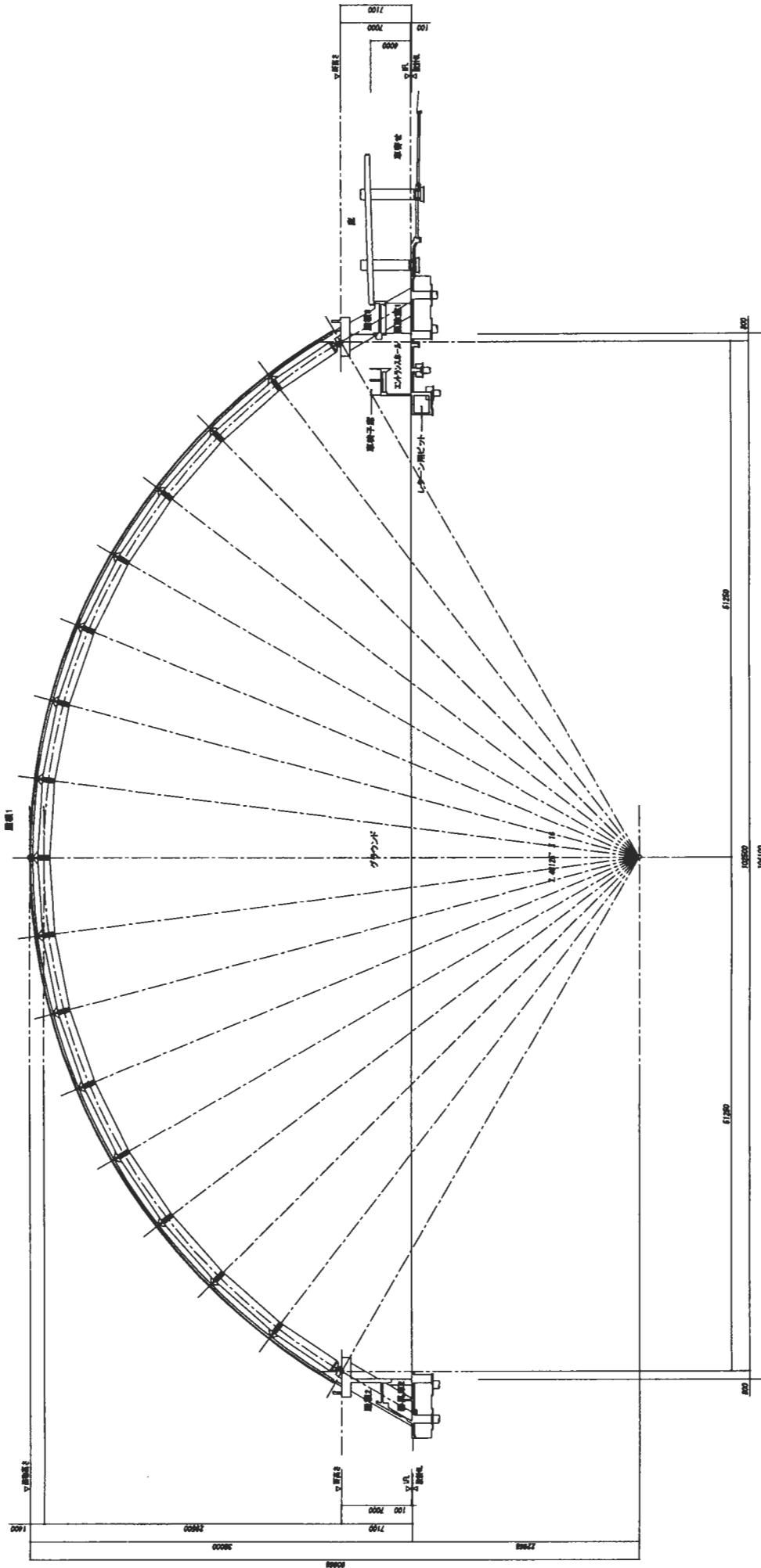




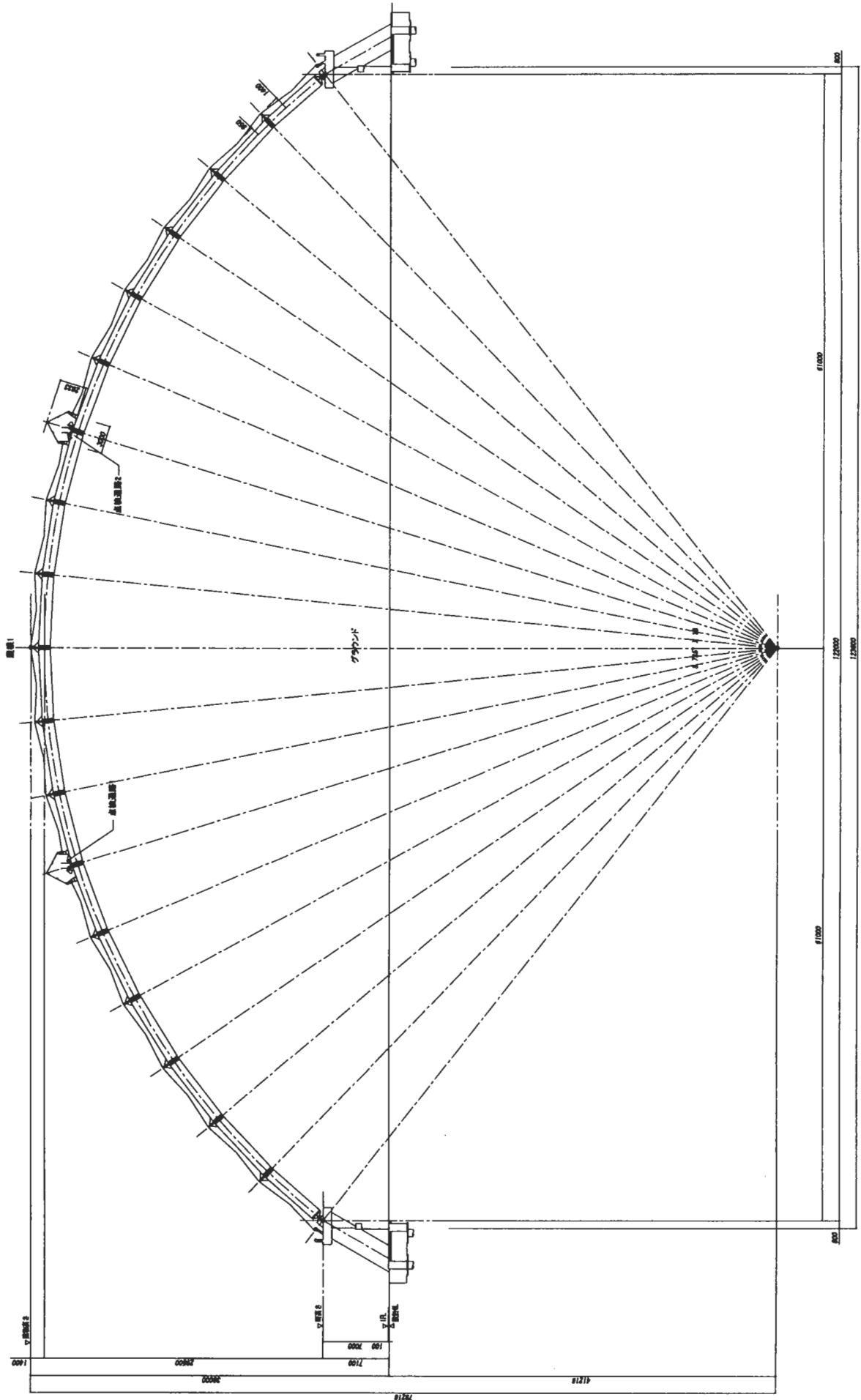








設計者		監理者		設計者		監理者		設計者		監理者		設計者		監理者	
氏名	2003	氏名	2003	氏名	2003	氏名	2003	氏名	2003	氏名	2003	氏名	2003	氏名	2003
設計者	監理者	設計者	監理者	設計者	監理者	設計者	監理者	設計者	監理者	設計者	監理者	設計者	監理者	設計者	監理者
2003年 F2002-11 官能検査合格認定施設 (福島) 建設主体工事 設計者: 大塚設計 監理者: 大塚設計 設計者: 大塚設計 監理者: 大塚設計 設計者: 大塚設計 監理者: 大塚設計 設計者: 大塚設計 監理者: 大塚設計															
縮尺: 1:200															
図面番号: A-029/															



図名	構造面	図番	A-027
設計者	大連設計	縮尺	1:200
設計日	2002	図名	構造面
設計場所	2002	図番	構造面
設計者	大連設計	縮尺	1:200
設計場所	2002	図名	構造面
設計者	大連設計	縮尺	1:200





日本木材学会 木材強度・木質構造研究会  
2003年度秋期シンポジウム  
地域材利用の技術開発の動向 - 宮崎  
2003年10月16-17日  
(宮崎県宮崎市)

担当幹事 加藤英雄 内迫貴幸