

『3枚貼り合わせ梁材の開発』
- スギ・ヒノキ中・大径木の活用に向けて -

静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター 池田潔彦

1 はじめに

庁舎や学校・図書館など「公共建築物木材利用促進法」の施行、長期優良住宅への国産材（地域産木材）の利用施策（国土交通省）が行われ、消費者の環境志向や世界的な木材需要増加及び為替相場の変動リスク回避から、住宅メーカー等建築側でも国産材利用への兆しが表れている。また、10年後に国産材の自給率50%以上を目指す「森林・林業再生プラン」が公表され、国産材の利用促進に向けた動きが活発化している。静岡県では、経済産業ビジョンにおいて県産材の需要と供給の一体的な創造を掲げ、「しずおか木使い県民運動」等により県産材を使う意義や良さを県民に普及啓発し、県産材の需要拡大に取り組んでいる。また、建築基準法改正や住宅瑕疵担保履行法、住宅の品質確保促進等に関する法律や消費者に安心・安全な住まいを提供する建築側の需要に対応するため、品質・性能の確かな県産材製品の安定供給に向けて「しずおか優良木材認証制度」を進め、県産材の利用促進に取り組んでいる。

しかし、現状では、国産材は、外材と比べて製品の生産効率化・安定供給や、品質・性能向上に向けた新しいJAS製品等の開発が不十分な状況にあり、建築・消費者側ニーズへの対応が遅れている。このため、木造建築用材に占める県産材の比率は低位な状況にあり、特に、木造建築に使用される部材で材積割合が高い梁・桁では95%、土台では72%と外材の使用比率が極めて高い状況にある。一方、国産材は、今後中・大径材の生産増が見込まれ梁・桁等の原料として量的面・質的面・価格面で十分対応できる状況にある。しかしながら、消費者側が求める品質・性能（乾燥・強度）を有した製品の安定供給を図る上で、特に、主要県産材であるスギでは乾燥が難しく強度のばらつきが大きな加工利用上の問題点があり、原料から製品に至る効率の良い製造管理技術が確立しておらず、最終製品の品質管理（グレーディング）では対応できない状況にある。

このため、中・大径材の特徴を活かし付加価値・価格競争力を有した建築材（製品）の安定供給を図る必要があり、原木の段階で水分量（含水率）や材質（ヤング率）に応じて選別し、それに応じた製品化を行い品質・性能の向上安定化と製造歩留り向上等によるコスト削減を図ることが極めて重要である。

2 スギ・ヒノキ等中・大径木の原木段階での用途選別技術の開発

製材品等では、強度（ヤング率）と水分量（低含水率域）を自動計測し、評価・選別するグレーディングマシンの実用機開発・市販化が行われ、県内の優良木材認証工場にオンラインで品質検査が行える機器が導入されている。また、原木をヤング率で強度評価するグレーディングマシンは製材用の技術を応用した試作機の開発が行われている。しかし、原木の高含水率域での水分計測手法・グレーディング装置の開発は皆無であり、これまで、高含水率領域の水分量を評価する基礎研究として、中性子線、横打撃振動及び電磁波（特にマイクロ波領域の透過・減衰）等が検討されている反面、現状では実用化に適用できる簡便で精度が良い技術手法が確立していない。特に、スギ原木では材質や内部の水分量が高かつ水分分布も個体間で大きく異なり、原木段階で材質や水分量（含水率）の選別する基準指標値など原木グレーディングマシンを有効活用するソフト等に必要データ等が不十分な状況にある。報告会では、スギ中・大径原木より採材した芯持ち・芯去り平角製材梁5材種について、製材工場で通常稼働しているスケジュールによる乾燥性能・強度性

能を評価するとともに、原木段階で生材密度・ヤング率等により選別区分する効果について検討した事例とマイクロ波を活用した高含水率評価手法の取組を紹介する。

2.1 試験体と試験方法

スギ中・大径原木は静岡県天竜川・大井川流域の林分より産出された計 321 本で、材寸、生材密度及び動的ヤング率（以下、「Efr」）を調べた。原木は、末口径に応じて厚が 180、210、240、270、300mm、幅が 120mm（仕上り寸法）の 5 材種の平角に、芯持ちで各 40 本計 200 本、芯去り（2 丁採り）で各 10 本計 50 本を、厚 240mm、幅 120mm の芯持ち平角 96 本を採材した。5 材種の芯持ちスギは、12 時間の 95 蒸煮後、120 の高温低湿処理 24 時間後、半数が乾球温度 85、湿球温度 80～60 で 10 日間、半数が乾球温度 105、湿球温度 90～80 で 10～16 日間人工乾燥した。芯去りスギは、12 時間の 95 蒸煮、120 の高温低湿処理 24 時間後、乾球温度 105、湿球温度 80～60 で 10 日間人工乾燥した。乾燥後、高周波式含水率計による MC と Efr を計測した。実大曲げ試験はスパン 390cm、3 等分点 4 点荷重方式で行い、標準試験条件に調整した曲げヤング率（Eb）と曲げ強度（fb）を求めた。曲げ試験後、破壊の影響の無い箇所より 30mm 厚試片を採材し、断面全体の全乾法 MC と梁背方向に分割し材内部 MC 差（水分傾斜）を計測した。

2.2 結果および考察

高周波式含水率計による MC 平均値は芯持ち・芯去りとも 20%以下であった。一方、全乾法 MC（全断面）の平均値は、セット + 高温度域の芯持ち厚 180mm、210mm が 15%以下である以外、その他の材種ではいずれも 25%以上であった。材内部 MC は、芯持ち、芯去りともに特に厚 240mm 以上でばらつきが大きく、表層部位が 20%以下である反面、材内部の MC 差は 30～60%と高く凸型・M型の個体が多い（表 - 1、図 - 1）。

原木の生材密度と乾燥前後における平角の密度、全乾法 MC 及び材内部 MC 差との決定係数は 0.28～0.47 であり、有意な相関関係が認められた（図 - 2）。原木段階で生材密度により 2 区分した際、例えば 700kg/m³ 以下の平角では MC 及び材内 MC 差の平均値は 20%となり無区分と比べて標準偏差も減少する（表 - 2）。

丸太の生材密度は選別指標として利用できると考えられたが、平角の乾燥性能や材内部 MC 差を評価するには推定精度が低い。このため、今後、原木内部の高含水率域における水分量を精度良く評価できる手法が必要と思われる。

原木の Efr と平角の Efr（乾燥前後）、Eb との間に決定係数 0.76～0.80 と高い相関関係が認められ、fb との間にも有意な相関関係が認められた（図 - 3）。原木 Efr により Ef90（7.8 kN/mm²）、Ef110（9.8 kN/mm²）を閾値として 2 区分した際の信頼水準 75%のときの 95%下限許容限界値（以下、PTL）を比較した。製材梁の Eb、fb の PTL は、特に、Ef110 で区分した場合の fb（N/mm²）は、35.1 と 40.1 となり下位グループで E90、上位グループで E110 の基準強度を上回ることから（表 - 3）、原木段階で高強度材を選別する指標値として有効と考えられた。

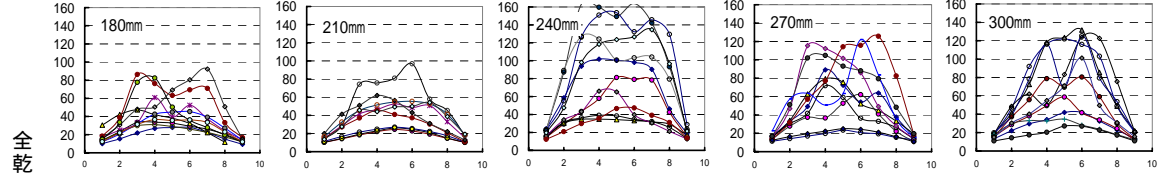
3 中・大径材より採材した幅広厚板等を活用した貼り合わせ梁材の開発

中・大径原木では原料となる大断面板材等を高歩留まりで採材できる特徴があるが、この特徴を活かした製品開発は現状ではほとんど行われていない。特に、外材の使用比率が高く県産材製品への転換が必要な梁・桁については、高い製造歩留まりと効率の良い生産による製造コスト削減と品質・性能の向上が図られ、JAS（日本農林規格）に適應できる、積層梁等の新たな製品開発が必要である。新たな製品化の一つとして、中・大径丸太より採材した幅広板を原料とし、それらを乾燥後に接着した貼り合わせ梁材が考えられる。合わせ梁材は、同じ等級の（幅広厚の）ひき板 2 枚以上を幅方向に積層接着し幅方向に曲げ荷重が負荷される状態での使用を前提とした製品であり、ひき板相互を接着以外にボルト

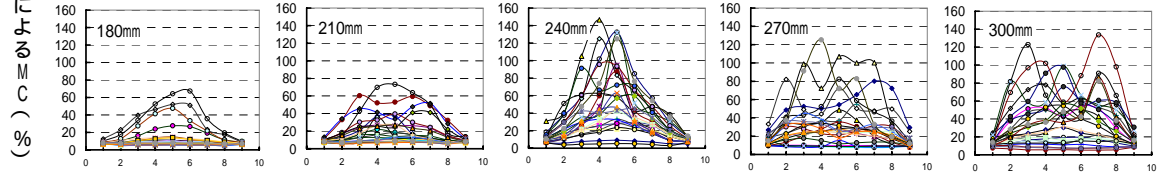
表-1 スギ芯持ち・芯去り平角製材の人工乾燥後における含水率

幅 (mm)	厚 (mm)	芯持ち：蒸煮・高温セット+中温度域 全乾法MC(%)							芯持ち：蒸煮・高温セット+高温温度域 全乾法MC(%)							芯去り：蒸煮・高温セット+中温度域 全乾法MC(%)									
		MOCO2		MC		5分割試片			MOCO2		MC		9分割試片			MOCO2		MC		9分割試片					
		Ave	SD	Ave	SD	最大	最小	平均	差	Ave	SD	Ave	SD	最大	最小	平均	差	Ave	SD	Ave	SD	最大	最小	平均	差
120	180	17	28	57	19	29	29	10	10	16	7	11	9	14	27	54	13	33	42	14	27	54	13	33	42
120	210	19	32	53	20	38	42	11	14	25	8	16	17	13	27	48	12	32	35	13	27	48	12	32	35
120	240	20	33	59	22	37	37	12	24	66	9	31	57	19	52	95	17	63	78	19	52	95	17	63	78
120	270	20	34	62	33	38	39	15	23	42	12	26	30	16	41	82	14	46	68	16	41	82	14	46	68
120	300	23	37	78	38	43	41	15	28	52	12	31	40	18	43	85	15	48	70	18	43	85	15	48	70

芯去り平角：蒸煮(12時間)・高温セット(24時間)、乾球温度85、湿球温度80~60(10日間)+乾球温度80、湿球温度80~60(7日間)



芯持ち平角：蒸煮(12時間)・高温セット(24時間)、乾球温度105、湿球温度90~80(10~16日間)、270・300mm：高周波加熱併用(7日間)



芯持ち平角：蒸煮(12時間)・高温セット(24時間)、乾球温度85、湿球温度80~60(10日間)

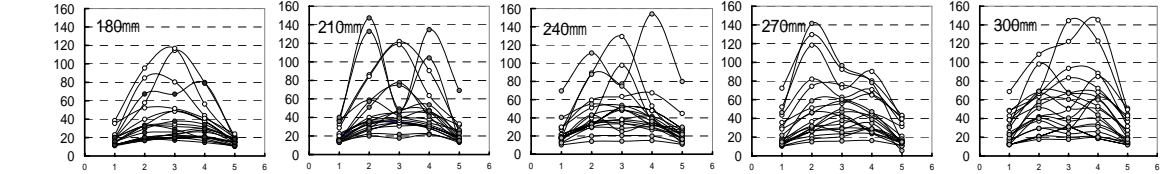


図-1 スギ芯持ち・芯去り平角製材の乾燥後における全乾法MC(材内部における水分傾斜)

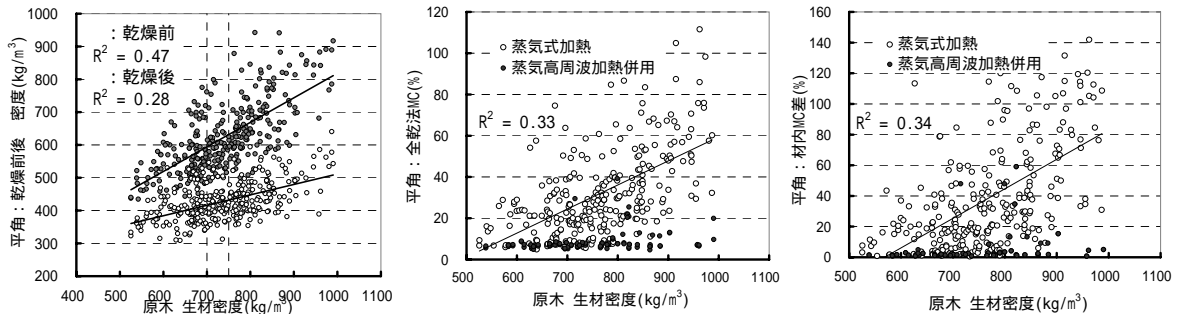


図-2 スギ原木の生材密度と平角製材の乾燥前後の生材密度、全乾法MC及び材内MC差(水分傾斜)との関係

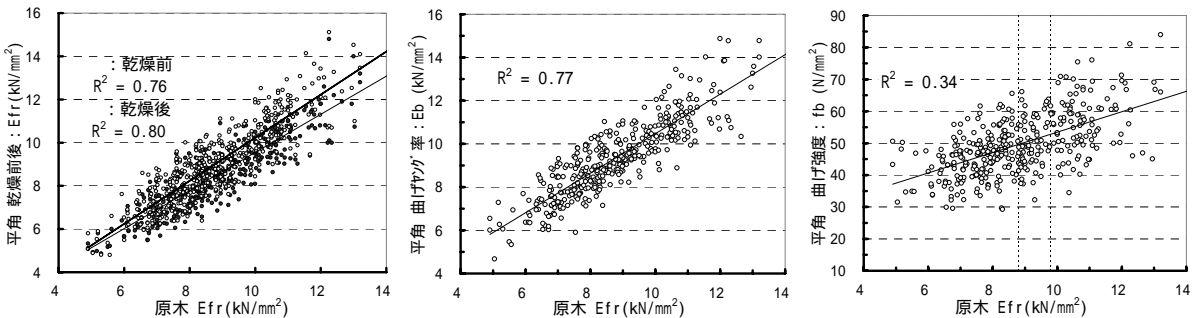


図-3 スギ原木Efrと平角製材のEfr(乾燥前後)・曲げヤング率(Eb)・曲げ強度(fb)との関係

R²: 決定係数、Eb・fb: ヤング率と曲げ強度の標準実験条件 (MC15%、梁背105mm、スリ¹梁背18倍、3等分点4点荷重式) による調整値、

表-2 原木の生材密度で2区分した際の平角のMCとMC差

無区分	生材密度700kg/m ³ で区分				生材密度750kg/m ³ で区分					
	700kg/m ³ <		700kg/m ³		750kg/m ³ <		750kg/m ³			
	Ave	SD	Ave	SD	Ave	SD	Ave	SD		
MC(%)	32	21	20	14	36	21	22	14	41	22
MC差(%)	38	34	20	21	45	35	21	20	52	36

Ave: 平均値、SD: 標準偏差

表-3 原木のEfrで2区分した際の平角のEbとfb

無区分	Efr90で区分				Efr110で区分					
	7.8kN/mm ² <		7.8kN/mm ²		9.8kN/mm ² <		9.8kN/mm ²			
	Ave	PTL	Ave	PTL	Ave	PTL	Ave	PTL		
Eb(kN/mm ²)	9.4	6.7	8.2	6.4	10.8	8.6	8.5	6.4	11.1	9.0
fb(N/mm ²)	50.0	35.7	46.0	33.4	55.0	39.8	46.8	35.1	57.3	40.7

PTL: 信頼水準75%のときの95%下限許容限界値、Eb, fb: 図3参照

や木ダボ等による接合具で接合し一体化した際にも断面係数や断面 2 次モーメントも接着した場合もしくは同じ断面形状の無垢材とほぼ同等とみなすことができる点に特徴がある。また、無垢材に近い質感を有しており見え掛かりの梁・桁部材としての利用も行える。一方、接着した構造用の木材製品を全国に普及するには「JAS」または「建築基準法 37 条の 2、告示 1446 (1539) 号による指定建築材料 (木質接着成形軸材料等)」の認定を取得する必要がある。この点でも貼り合わせ梁材は、現行の集成材 JAS (同一等級構成) として適応できるため、取得に多くの時間と経費を要する告示の指定建築材料と比べて、製品実用化を図るのが容易である。報告会では、2 層 ~ 4 層貼り合わせ梁を試作し曲げ性能を中心に検討した事例を紹介する。

3.1 試験体と試験方法

スギ中・大径原木丸太の動的ヤング率 (E_{fr}) とみかけ密度等を計測した後、末口径に応じて幅広板 (厚 40 ~ 70mm 幅 195 ~ 315mm) を採材し、人工乾燥後にグレーディングマシンを用いて E_{fr} を計測した。その後、同じ原木より採材した幅広板を 2 層 ~ 4 層に積層しレゾルシノール樹脂接着剤を用いてホットプレスで圧縮して、材長 4m、幅 120mm、厚 180mm、210mm、240mm、270mm、300mm の 5 材種各 20 本の貼り合わせ梁を試作した。貼り合わせ梁は E_{fr} と含水率を計測後、3 等分点 4 点荷重方式で曲げ試験を行い、MOE と MOR 及び破壊性状を調べた。また、3 層貼り合わせ梁よりイス型せん断試験片を作成し、1 体を無処理 (常態時) 2 体を集成材 JAS に準じて接着試験 (煮沸または浸漬処理) 後、せん断強度を調べた。

3.2 試験結果と考察

スギ中・大径丸太は、 E_{fr} が 5 ~ 16kN/mm² (平均 8.8kN/mm², 変動係数 19%) の広範囲に分布し、みかけの密度も 500 ~ 1100kg/m³ であり無垢製材梁を採材した場合には乾燥が困難なものが多いことが推察された (図 - 4)。丸太と 2 ~ 4 層貼り合わせ梁と製材梁 (乾燥後) の E_{fr} の間に高い相関関係が認められ (図 - 5)、原木グレーディングにより貼り合わせ梁の曲げ性能が推定可能と思われる。3 層、4 層貼り合わせ梁用の幅広板は、乾燥後の重量減少率が 2 層貼り合わせ梁用や製材梁と比べて高く (表 - 4)、大半が目標含水率 15% に仕上がった。一方、2 層貼り合わせ梁用の幅広板は乾燥後の重量減少率が製材梁とほぼ同じで含水率もやや高く、今後、乾燥方法の検討が必要である。

2 ~ 4 層貼り合わせ梁製造に用いた幅広板各層の E_{fr} を平均した値と曲げ試験による貼り合わせ梁の MOE に極めて高い相関関係が認められ (図 - 6)、貼り合わせ梁の E_{fr} と MOE にも高い相関関係が認められたことから、貼り合わせ梁の MOE を原料幅広板や貼り合わせ梁の E_{fr} 計測で的確に評価できると思われる。2 層 ~ 4 層貼り合わせ梁は、MOR が同一等級構成集成材 (積層数 2 ~ 4) 曲げ性能基準値を大半の試験体が上回り、(表 - 5, 図 - 7) 各材寸で主に JAS 同一等級構成集成材の「E95-F315 ~ F270」に相当するものが製造可能と思われる。JAS ではひき板毎数が多くなるほど MOE や MOR が大きいが、貼り合わせ梁では 2 ~ 4 層の積層数の違いによる MOE や MOR の差が認められなかった。3 層貼り合わせ梁の接着試験では煮沸・浸漬処理後のせん断強度は常態時と比べ煮沸・浸漬処理後で平均値や下限値が小さいが、接着層はく離は皆無であった (図 - 8)。

今後、貼り合わせ梁材については、原料選別から製材・乾燥加工製造の歩留まり検証 (特に、幅広厚板の乾燥手法)、接着積層の信頼性向上技術、製品品質の保証技術等が課題である。また、接着以外で接合した合わせ材の性能検証も必要と思われる。

これらの成果は、平成 21 ~ 22 年農林水産省補助事業「長期優良住宅に対応した地域材製品の開発等事業：日本住宅・木材技術センター・木構造振興(株)」と、平成 22 年江間忠ウッドベース(株)と当センターとの共同研究「貼り合わせ梁材の開発」によるものである。

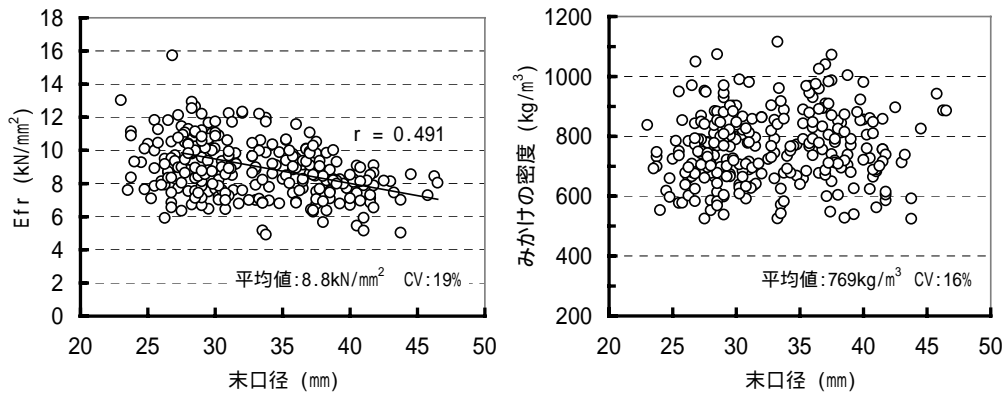


図-4 スギ中・大径原木丸太（天竜地域産）の末口径とEfrとみかけの密度の関係

表-4 スギ原木より採材した幅広板・製材梁の乾燥後の重量減少率, MC, 密度（平均値）

幅(梁背) (mm)	乾燥後の重量減少率(%)				乾燥後のMC(%) : MOCO2				乾燥後の密度(kg/m³)			
	製材梁	2層	3層	4層	製材梁	2層	3層	4層	製材梁	2層	3層	4層
180	36	33	42	43	10.1	15.4	15.1	12.0	405	442	398	438
210	38	33	47	44	10.7	22.8	14.8	11.0	412	410	419	446
240	35	33	42	46	12.4	21.9	15.9	11.0	451	408	417	445
270	30	37	45	46	14.9	22.8	13.2	11.2	432	418	394	421
300	33	38	40	43	15.2	24.6	16.2	10.8	444	420	412	402

表-5 スギ2~4層接着併せ梁と製材梁のEfr, MOE及びMOR（平均値）

幅(梁背) (mm)	Efr (kN/mm²)				MOE (kN/mm²)				MOR (N/mm²)			
	製材梁	2層	3層	4層	製材梁	2層	3層	4層	製材梁	2層	3層	4層
180	9.6	8.8	9.2	10.1	10.5	9.3	9.7	10.6	39.7	40.6	48.3	38.4
210	9.4	8.3	9.2	10.1	10.0	9.0	9.5	10.3	37.3	38.5	41.9	38.4
240	9.4	7.8	8.9	10.8	10.2	8.4	9.0	11.1	39.9	36.6	44.5	37.8
270	8.4	7.8	9.4	9.8	8.6	8.2	9.5	10.1	34.7	35.6	45.2	37.0
300	8.7	7.2	8.8	9.5	8.5	6.6	9.0	9.3	32.2	30.1	36.3	36.4

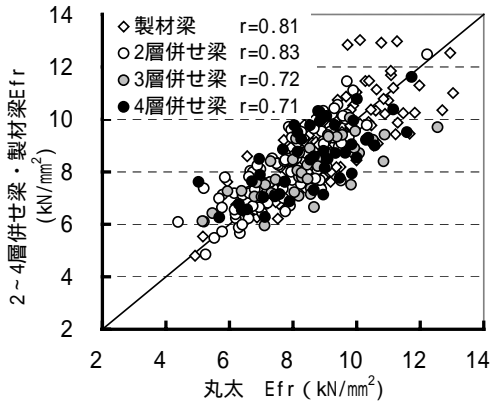


図-5 原木丸太と2~4層併せ梁のEfrの関係

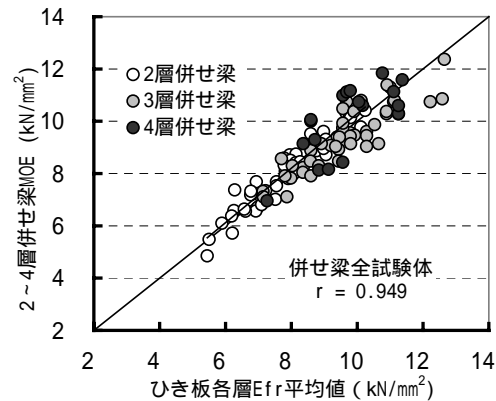


図-6 併せ梁のMOEと幅広板各層のEfr平均値の関係

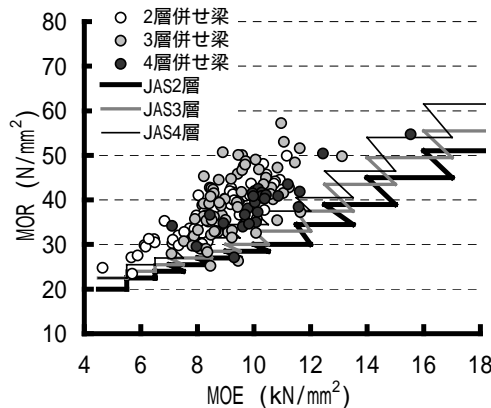


図-7 併せ梁実験値と同一等級構成JAS基準値の関係

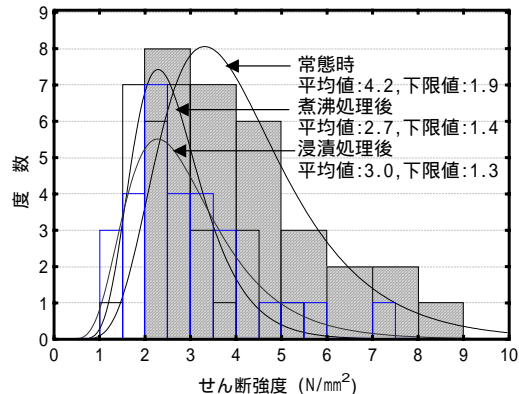


図-8 3層併せ梁の常態時,煮沸処理後,浸漬処理後における実大イス型試験によるせん断強度分布