

3章 歩行振動

3.0 目的

本章では、CLT を床版に用いた際の歩行振動性状について検討した。CLT 建築物では、床梁を省略して CLT を架け渡す工法（以下、CLT 床）が主流になると思われるが、平成 26 年度に（一社）日本 CLT 協会において実施された、「平成 25 年度補正林野庁委託事業『床板として CLT を使用する枠組壁工法建築物の開発』（以下、昨年度事業）」において、CLT 床の振動特性は鉄骨造や RC 造の比較的柔らかい床に近いことが分かっており、他の木造床と比べても床歩行振動を認知しやすく、気になり度が高い傾向にある。そのため、本章では CLT 床の歩行振動性状について実験的・解析的に検討し、床振動の軽減対策を検討すると共に、CLT 床に適した施工法の提案や、床振動対策用のスパン表を作成することを最終的な目的としている。

平成 27 年度は、図 3. 1 に示すフローに沿って検討を進めることとした。

具体的な検討内容としては以下の各段階記述の通りであり、今年度の進捗は③段階まで進める事が出来た。特に今年度成果として特筆すべき点は、CLT 床の歩行振動性状に関し、限定的ではあるが解析モデルを構築でき検証できた事であり、次年度に向けての貴重な足掛かりが得られた。

- ①実際に建設された CLT 建築物（協同組合オホーツクウッドピア内の CLT セミナーハウス）の歩行振動試験を行うことで、固有振動数の計測、固有モードの把握、CLT 床面内の強軸・弱軸方向への振動伝播性状の把握、減衰性状の把握を行い、同時に 100kg の錘を載せる静的載荷試験も実施して CLT 床の静的変形状を把握する。また、既往の研究で提示されている“人体感覚－評価関係”と比較することで、CLT 床の居住性評価も行う。
- ②次に、実大 CLT 床試験体（森林総合研究所）を用いて歩行振動試験を行うことで、CLT 床の端部接合方法や上載荷重による端部固定度の違いが CLT 床の振動性状および静的変形状に及ぼす影響を実験的に検討する。
- ③これらの実験データを元に CLT 床構面のモデル化を行い、有限要素法を用いた解析を行う。材料定数として用いるヤング係数や木材のポアソン比に相当する定数については、既往の実験データ等を元に試行錯誤的に数値を代入する。実験値と解析値の比較検証は、固有振動数や固有モード、100kg 載荷時の静的変形量について行い、実態に即した解析モデルを設定する。さらに、その解析モデルを使って歩行振動時の応答加速度についても検証を行い、加速度波形や振幅の比較を行うことで、解析モデルの妥当性を検証する。
- ④最後に、スパン表作成のための予備的な検討として、実験を行った床を対象に材料定数を変化させたパラメトリックスタディを試行的に行い、固有振動数等の特性値の比較を行う。詳細なスパン表については、次年度に端部固定度の影響やスプライン接合の影響等を検証したあとで詳細なパラメトリックスタディを行い、各種仕様に応じたスパン表を作成する予定である。

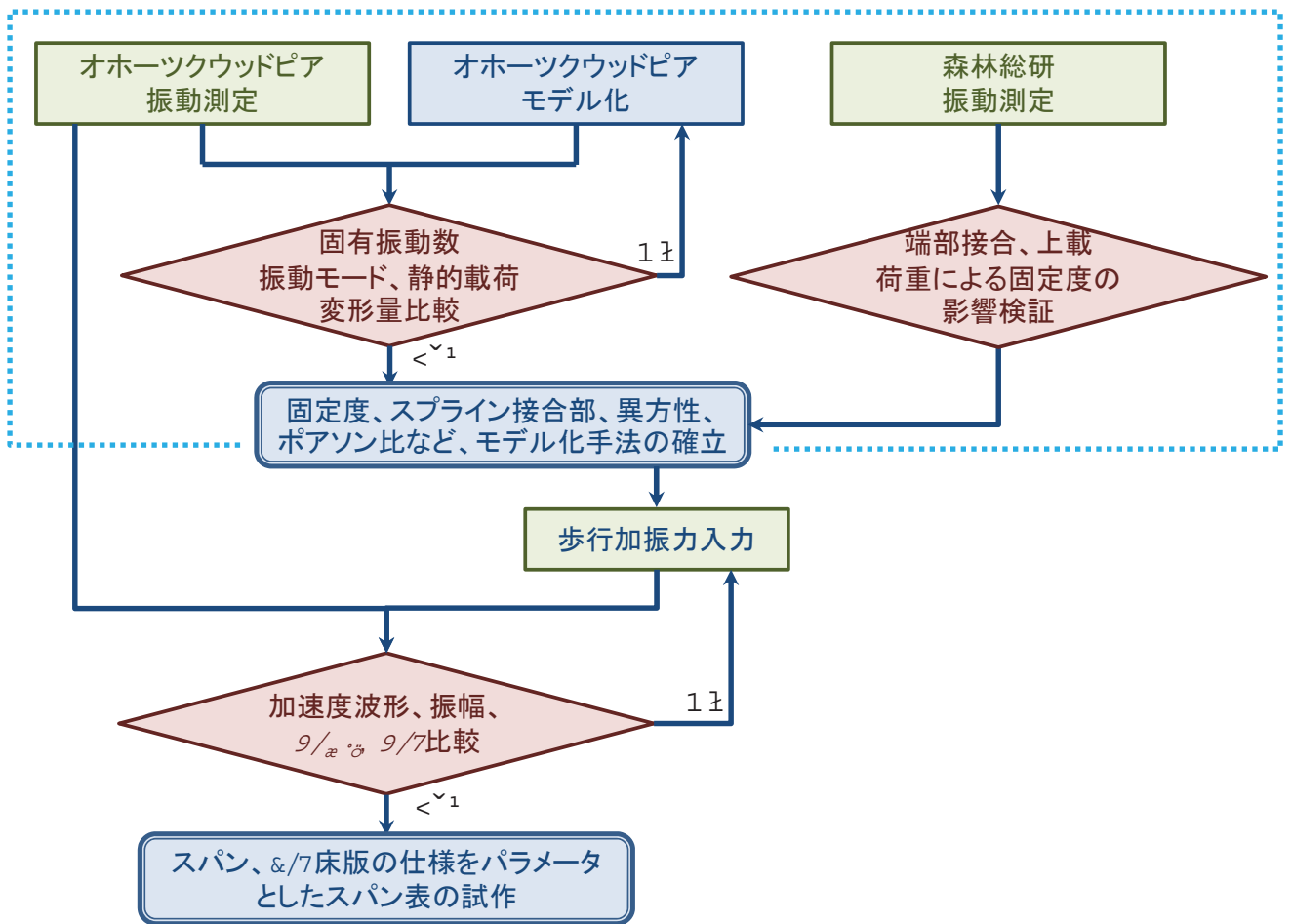


図 3. 1 歩行振動に関する検討フロー

3.1 実物件の測定：CLT セミナーハウス歩行振動試験

3.1.1 測定目的

昨年度実施した試験体床レベル等の測定から CLT 床の歩行振動を検討しておく必要を把握した。そこで本年度は、まだ数少ない実用建物での CLT 床版の振動特性を確認し、物理的感覚的特徴を把握するとともに、試験体床レベル等の測定が有効かどうかの比較検証、並びに解析による振動予測・対策スパン表作成に向けた貴重なデータを得る事を目的とした。

なお CLT 床は一般の木造床よりは剛性が高く、S・RC 造事務所床等の歩行振動性状に近似している事が明らかになっている。そのため本測定の分析により CLT 床の歩行振動性能値を抽出し、これまでの研究で提示されている人体感覚－評価関係と照合し居住性評価を行う事も目的とする。

3.1.2 測定概要

日 程：平成 27 年（2015 年）9 月 15 日－17 日

場 所：北海道常呂郡留辺蘂町旭 11 番地

協同組合オホーツクウッドピア CLT セミナーハウス

測定者：東京工業大学横山研究室 横山教授、他学生 4 名

立合者：有馬孝禮委員長、歩行振動 WG メンバー 他

試 験：セミナーハウス内二階床の固有値測定（固有振動数、減衰時間、静的載荷重時変形）、歩行振動特性測定（歩行振動たわみ）、及び官能検査

行 程：初日（15 日）現地へ移動後、測定建物内 1・2 階セミナールーム内測定機器設置
二日目（16 日）終日実測、三日目（17 日）現地より退去



写真 3.1 CLT セミナーハウス 歩行振動測定の様子

3.1.3 測定計画

(1) 測定対象

測定に用いた床は、道産カラマツ材ラミナを用いた7層7プライの厚210mm CLTで、スパン4.55m、桁行(有効)9.0mの床版で、パネル割付は図3.2のように不規則である。また、床版接合の特徴として、図3.3のようにパネル間接合に片面構造用合板厚30mmの上片面スプラインを用い、さらにその上に意匠でカラマツ製材を張り付けている。また床端部の壁との接合には、接合具を用いず、L型接合金物を使用している。

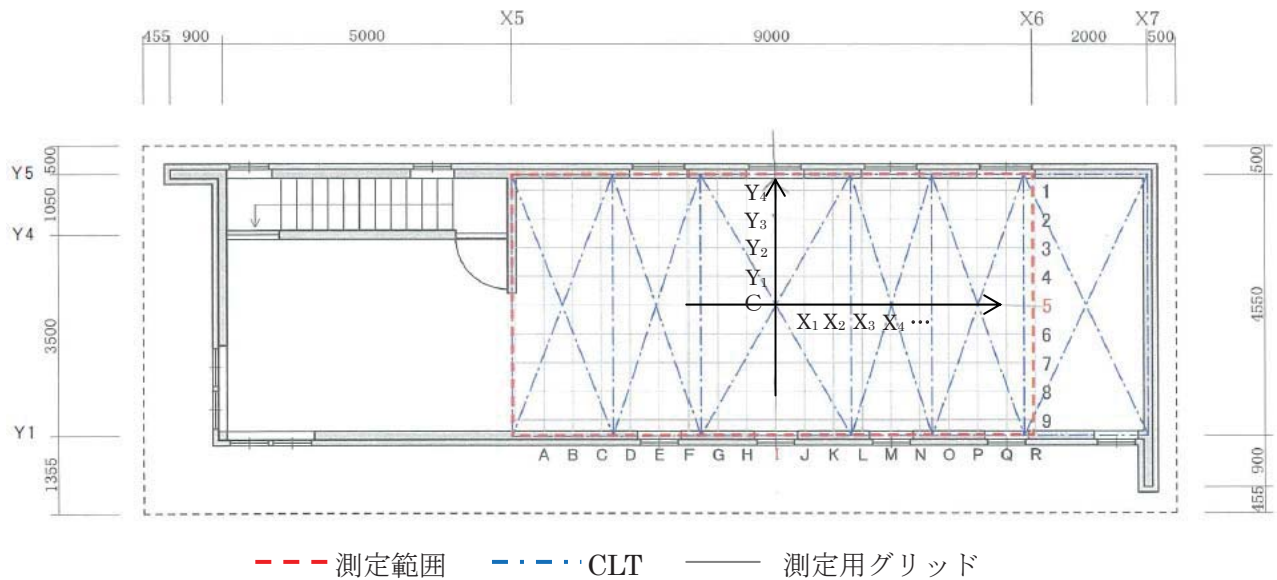


図 3.2 床パネル割付と測定範囲、測定点

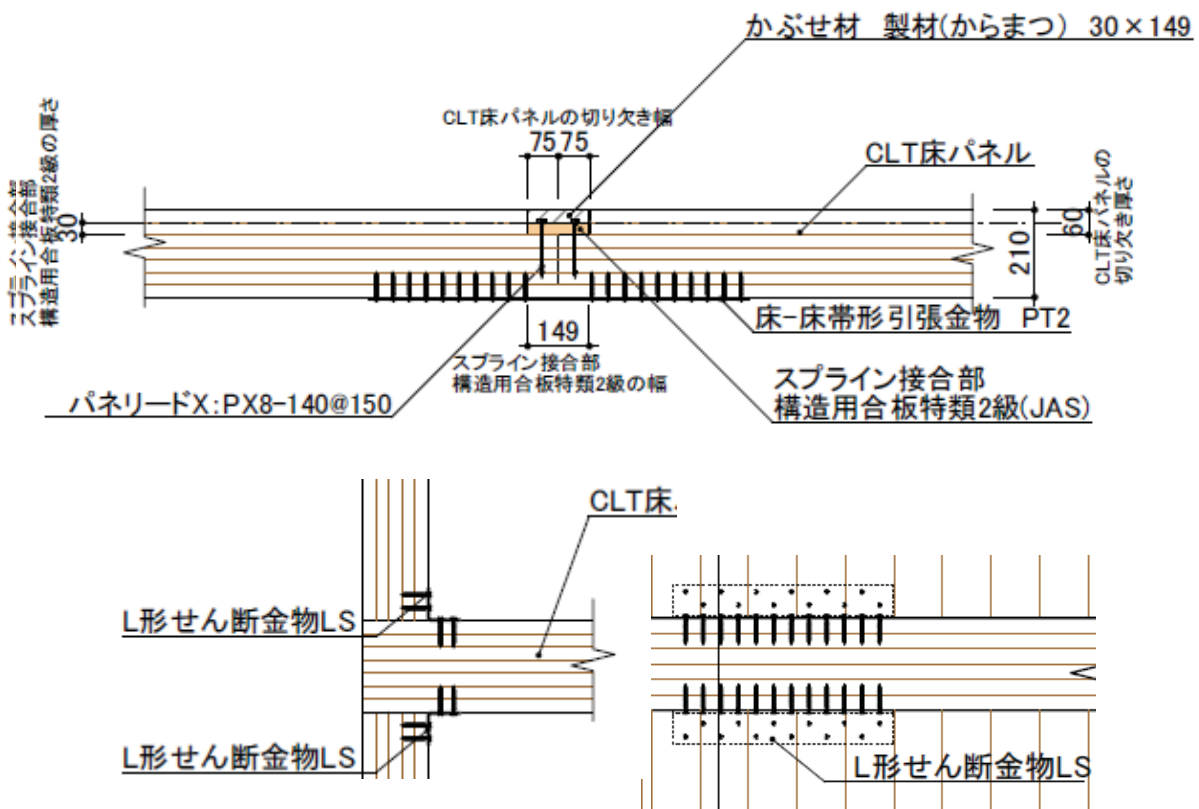


図 3.3 床パネル間接合と壁 - 床接合

(2) 測定項目

測定項目については前年度測定との比較を行うため、同じ手法・測定項目を基本とすることとした。まず図 3.2 の床測定範囲内に測定点をグリッド状に配置し、表 3.1 の様に測定項目と測定条件を設けた。

即ちスパン方向、桁行方向について、1) それぞれの条件での固有値(固有振動数、減衰時間)、2) 静的たわみ特性(微小荷重 100kgf たわみ)、3) 歩行振動測定、4) 官能検査を行った。ただし、実際の測定では、現場の実状に応じて、加振点、載荷点、歩行路、測定点などを適宜変更、再設定した。詳細は、(3) 試験方法にて述べる。

表 1 測定項目一覧

I-1: 振動測定(梁間方向)

測定項目 \ 測定状況	床上人数	加振点, 載荷点, 歩行路	測定点
固有振動数, 減衰時間	0人	加振点C	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
	1人Y ₁	加振点C	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
	2人Y ₁ , Y ₁ '	加振点C	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
	0人	加振点Y ₁	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
100kgf静的載荷	0人	載荷点C	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
	0人	載荷点Y ₁	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
歩行振動測定	0人	歩行路X	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃
	1人Y ₁	歩行路X	C, Y ₁ , Y ₂ , Y ₃

I-2: 振動測定(桁行方向)

測定項目 \ 測定状況	床上人数	加振点, 載荷点, 歩行路	測定点
固有振動数, 減衰時間	0人	加振点C	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
	1人X ₁	加振点C	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
	2人X ₁ , X ₁ '	加振点C	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
	0人	加振点X ₁	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
100kgf静的載荷	0人	載荷点C	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
	0人	載荷点X ₁	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
歩行振動測定	0人	歩行路Y	C, X ₁ , X ₂ , X ₃
	1人X ₁	歩行路Y	C, X ₁ , X ₂ , X ₃

II: 官能検査

検査項目 \ 検査状況	床上人数	歩行路
認知大きさ度合い, 気になり度合い	1人(検査員)Y ₁	歩行路X
	1人(検査員)X ₁	歩行路Y

(3) 試験方法

各試験方法は、各測定項目につき以下の通りとした。

1) 固有振動数、減衰時間測定 (ハンマー加振)

長尺棒先端に取り付けたハンマーで加振点を打撃加振し、CLT 床版上に高感度加速度ピックアップを取付け、時刻歴応答加速度を計測する方法で行った。また CLT 床版上の加振点付近に受振点を設け、無人、有人 (1 名、2 名) の条件変化を与え測定した。測定後 FFT 分析により固有振動数および減衰時間を求めた。図 3.4 は、ハンマー加振試験パターンを示す。上図は無人でスパン方向に展開した加速度ピックアップを桁行側に盛替えを行う場合、中図は加速度計はそのままで有人载荷を変化させた場合、下図は無人で加速度計と加振点を桁行方向に移動した場合を示す。

また図 3.5 は、FFT 分析により応答加速度の減衰に対応した減衰時間の取り方を示す。

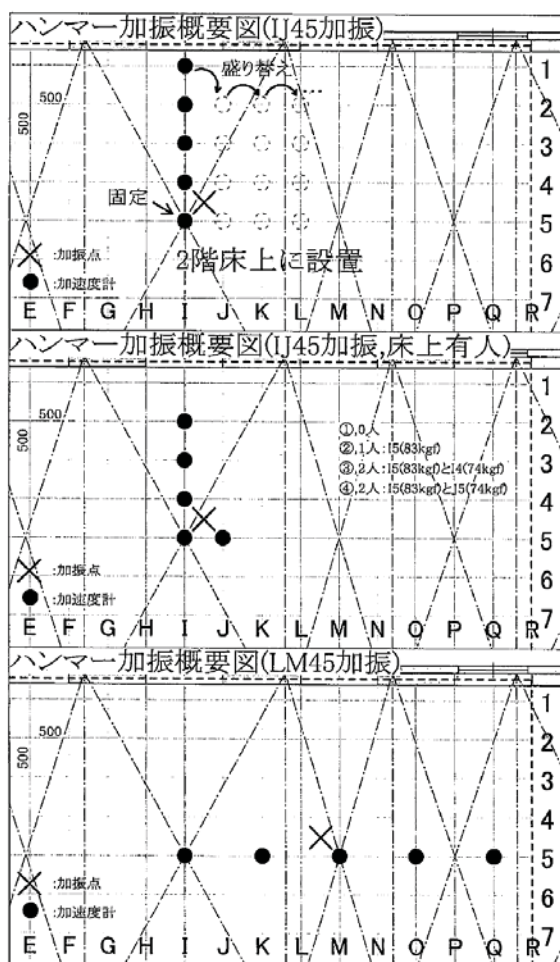


図 3.4 ハンマー加振点と加速度測定点の位置関係

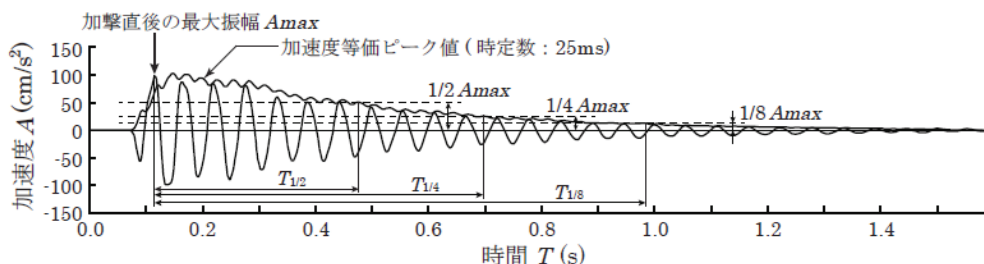


図 3.5 時刻歴応答加速度の減衰の読み取りの例

2) 100kgf 静的載荷

図 3.6 に示すように、20kgf 錘を 5 回に分けて載荷点に積み重ねる方法で徐々に 100kgf まで載荷し、CLT 床版の微小たわみを 1 階天井に設置した高感度レーザー変位計群（スパン方向変位計は盛り替え移動、桁行方向変位計は位置固定）で測定する方法で行ない、強軸弱軸各方向への剛性異方性、連続性の評価を行った。

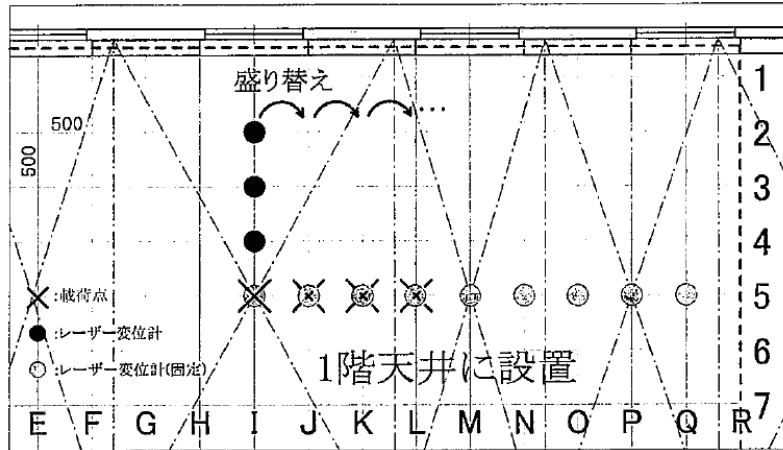


図 3.6 100kgf 載荷点と変位計の位置関係

3) 歩行振動測定

図 3.7 に示すように CLT 床版上中央に特定者の人重量を載荷した状態で、スパン方向、桁行方向に歩行者が歩行した場合の時刻歴応答加速度を測定する方法で行った。測定後、各性能値を、東京工業大学横山研究室がこれまでの研究で提示している性能値と官能尺度（認知度と気になり度）の対応図にプロットし性能評価を行った。

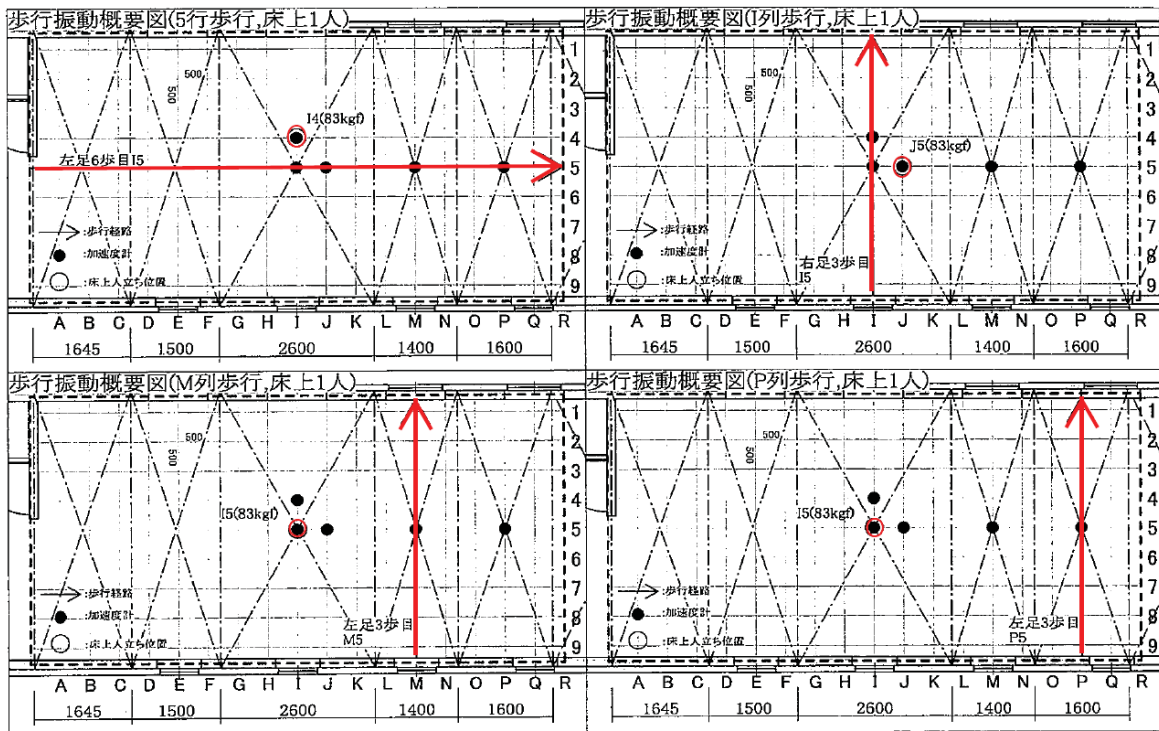


図 3.7 歩行振動測定のパターン

4) 官能検査

3) と同じ試験方法であるが、図 3.8 に示すように特定者の代わりに複数の検査員を受振者として交替配置し、東京工業大学横山研究室が、これまでの研究で提示している官能検査尺度（表 3.2）を用いたアンケート形式による性能評価を行った。これにより 3) で行った歩行振動測定評価結果が、実際の人の官能と整合しているかどうかの検証を行った。

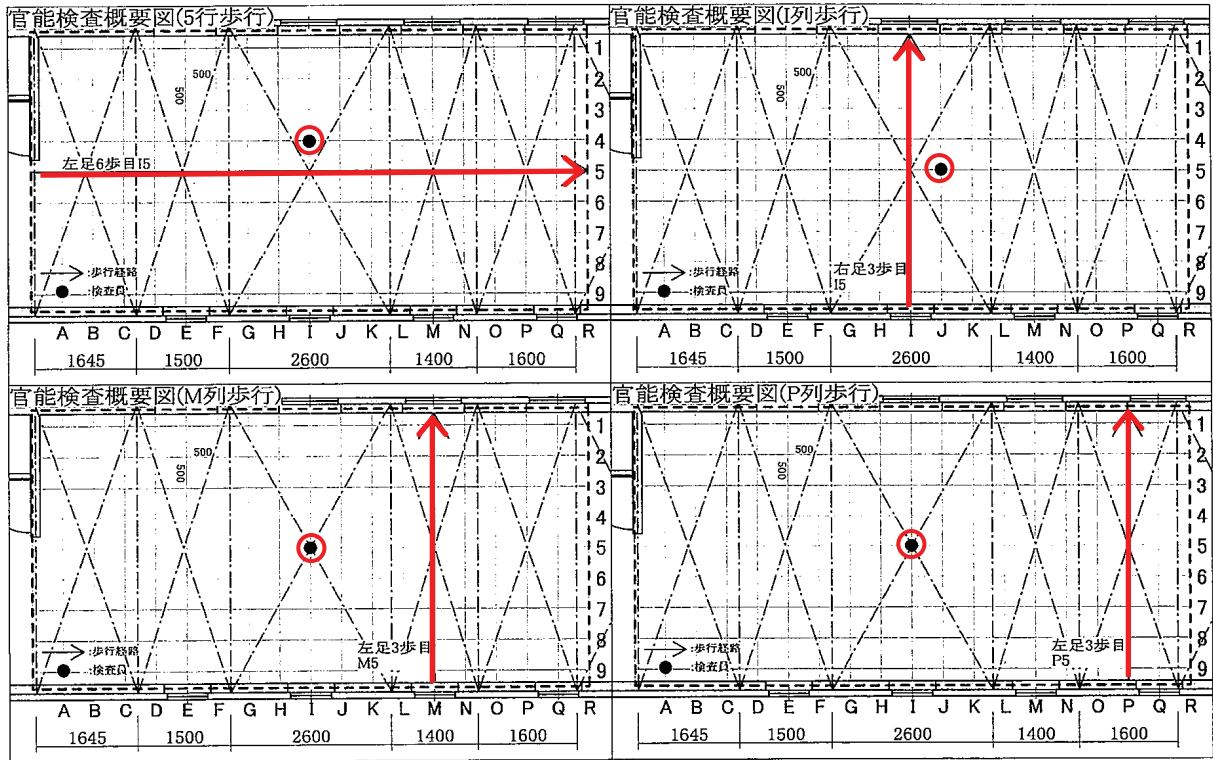


図 3.8 官能検査時の検査員と歩行者の位置関係

表 3.2 官能検査尺度

構成する尺度	認知大きさ尺度	気になり具合評価尺度
尺度構成手法	系列範ちゆう法	
質問事項	住居内で、周りを人が歩行した際に、このような床振動を感じたら、この振動は	
判断範ちゆう	①非常に大きく感じる ②やや大きく感じる ③はっきり気付く ④かすかに気付く ⑤気付くか気付かないかの境界 ⑥ほとんど気付かない ⑦全く気付かない	①非常に気になる ②..... ③かなり気になる ④..... ⑤やや気になる ⑥..... ⑦全く気にならない
検査試料	実床1種×歩行路4種=4種の歩行振動	
歩行者	成人男子(年齢23歳, 体重70kg), 歩調2Hz, 履物くつ下	
検査員	成人男女14名(年齢22~61歳, 体重45~92kg)	
受振姿勢	立位	
履物	くつ下	

3.1.4 測定結果

1) 固有振動数、減衰時間測定（ハンマー加振）結果

本測定物件の床では 22.0、25.5、32.0Hz の 3 次モードまで固有振動数が確認された（図 3.9）が、人体荷重が固有振動数に与える影響は殆ど無視できる事が判った。

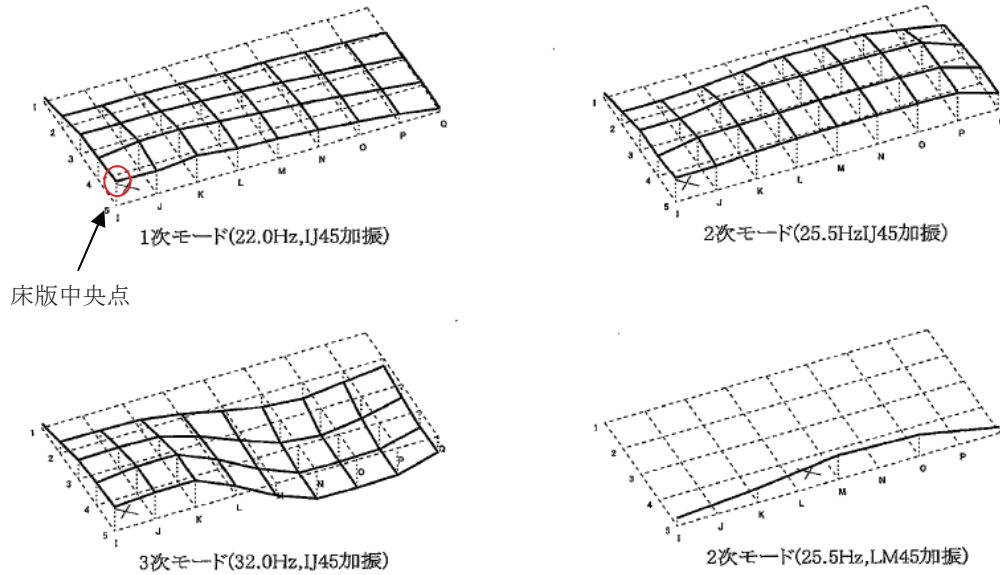


図 3.9 北見セミナーハウス 2 階床の中央点（I5）から 1/4 面の固有振動モード

一方振動加速度の減衰時間は、図 3.10 に示すように明らかに人荷重載荷の有無の影響が大きい事が確認でき、数量の多少ではなく、また人体は有効な振動吸収体である事が確認された。

また、表 3.3 に示すように減衰定数も有人載荷の減衰定数は大きく（減衰は早く）、人数が増えるほど増加する傾向にある。

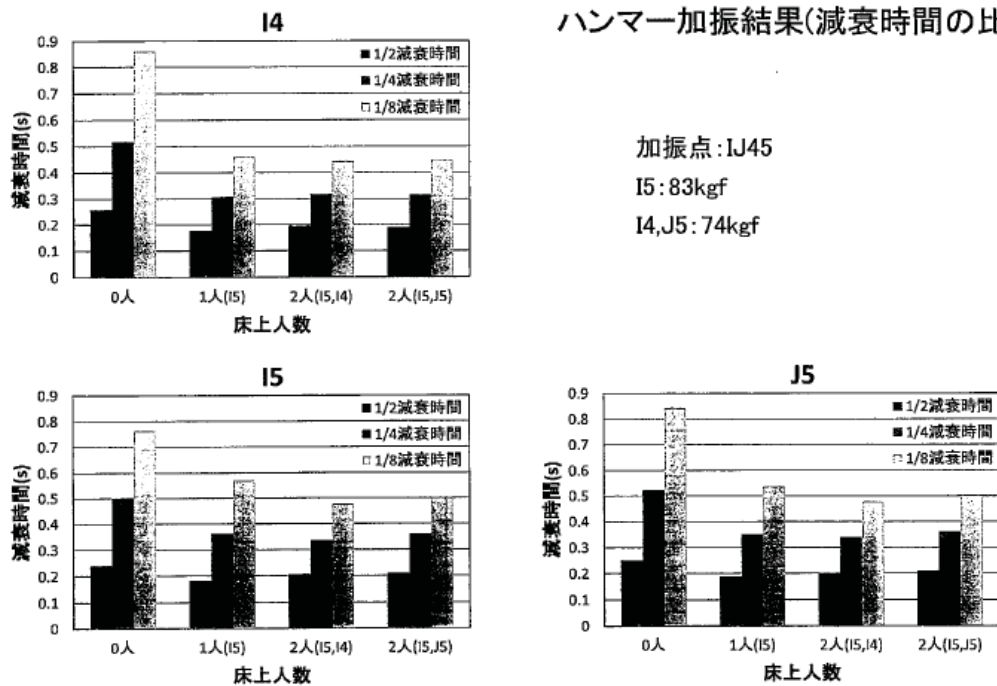


図 3.10 振動加速度の載荷条件減衰時間比較

表 3.3 加振条件毎の平均減衰定数比較

減衰定数(%)		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	平均
加振点J45									
床上0人	I5	2.17	2.64	2.89	2.83	2.71	-	-	2.65
	I4	2.04	2.18	2.18	2.26	2.26	-	-	2.18
	J5	2.14	2.40	2.49	2.28	2.42	-	-	2.35
床上1人 (15,83kgf)	I5	4.34	4.23	4.03	4.06	4.05	-	-	4.14
	I4	3.97	4.00	3.89	4.19	3.91	-	-	3.99
	J5	3.16	3.56	3.28	3.72	3.61	-	-	3.46
床上2人 (15,83kgf, 14,74kgf)	I5	-	-	4.74	5.39	5.10	5.03	5.23	5.10
	I4	-	-	4.59	5.63	4.79	5.30	5.01	5.06
	J5	-	-	3.78	4.59	4.01	4.19	3.26	3.97
床上2人 (15,83kgf, J5,74kgf)	I5	-	5.35	5.21	5.73	4.79	5.19	5.69	5.33
	I4	-	1.89	4.96	5.04	4.98	4.90	5.03	4.47
	J5	-	4.07	3.71	4.55	4.19	4.61	4.17	4.22

2) 100kgf 静的載荷結果

本測定物件の静的載荷の特徴として、強軸方向（スパン方向）の変形は緩やかで、床端部はピン状態と考えられた。一方、桁行方向の変形は、パネル継ぎ目付近に載荷すると一時的に連続性が弱くなり変形増加した。

静的載荷による強軸方向、弱軸方向への変形影響は同程度（同心円的）の様である。また、静的載荷試験ではパネル継ぎ目が一体化していないと見られたのに対し、動的荷重（ハンマー加振）試験モード図では継ぎ目影響が見られず、一体化しているように見られた。（図 3.11）

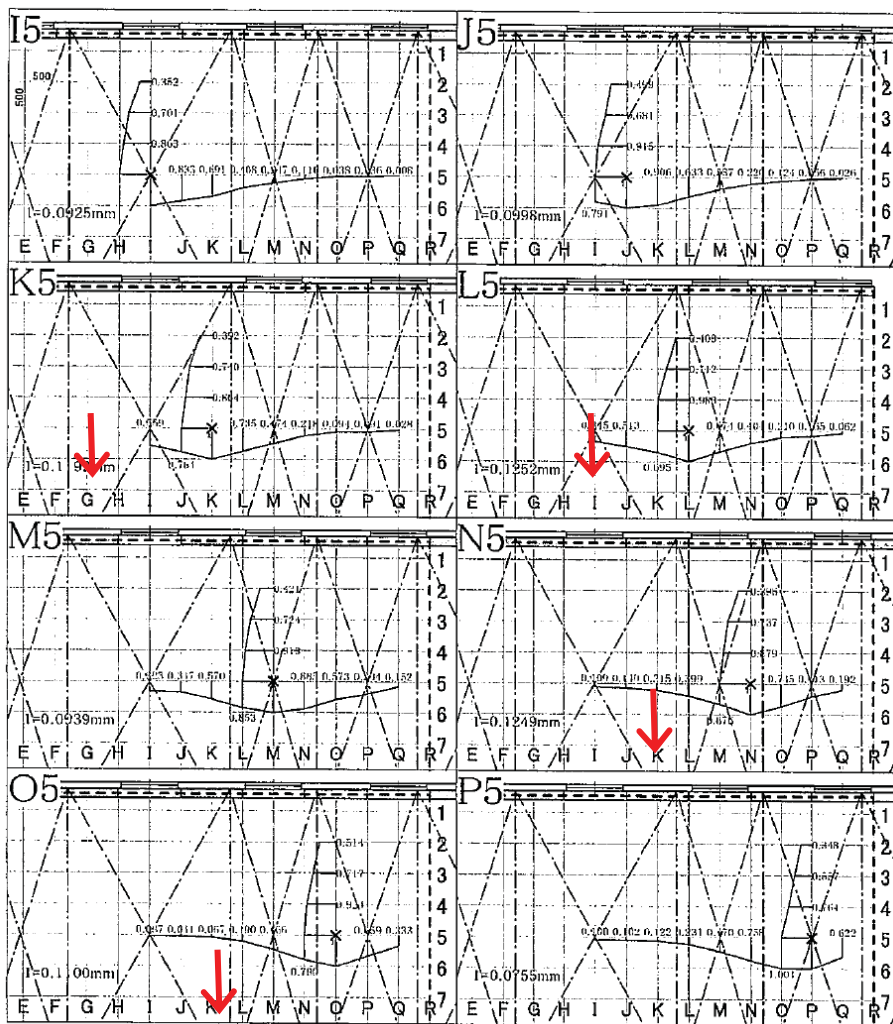


図 3.11 100kgf 静的載荷時の変形図

図 3.12 は、強軸スパン方向変位を各測点直下のレーザー変位計測値で表示したものである。これによれば強軸方向でもパネル継ぎ目付近は、パネル中央部より変形し易くなっている。

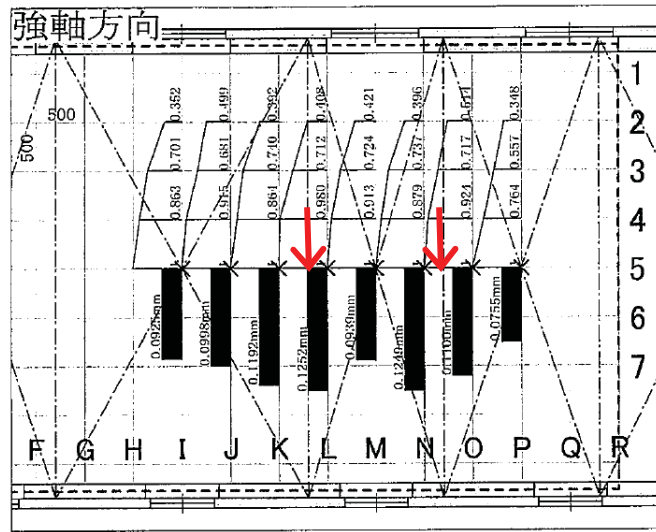


図 3.12 強軸（スパン）方向の静的載荷時の変位量比較

3) 歩行振動測定結果

本測定物件の測定結果を分析した性能値を、東京工業大学横山研究室で蓄積してきた性能値と官能尺度（「認知度」と「気になり度」）の対応図にプロットすると図 3.13 のようになった。

これにより、本測定物件の床の振動性能は、認知度で「③はっきり気付く」、気になり度で「④かなり気になる～やや気になる」と評価した。

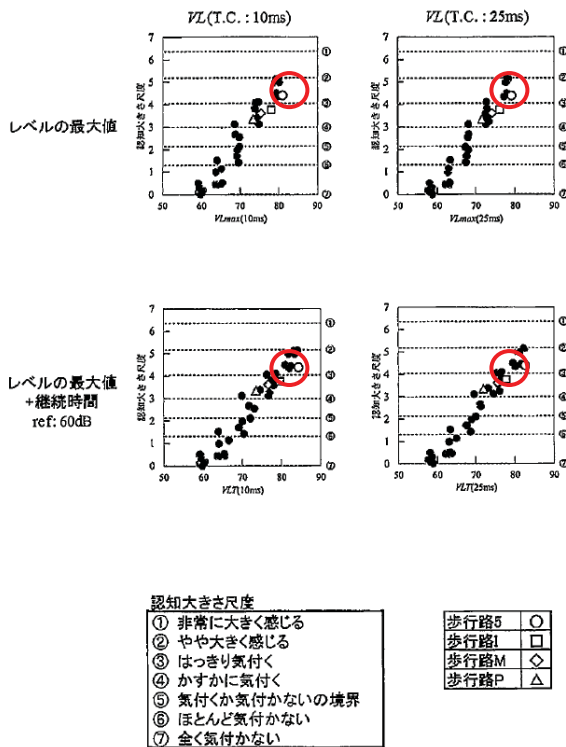


図 15 各性能値と認知大きさ尺度の対応

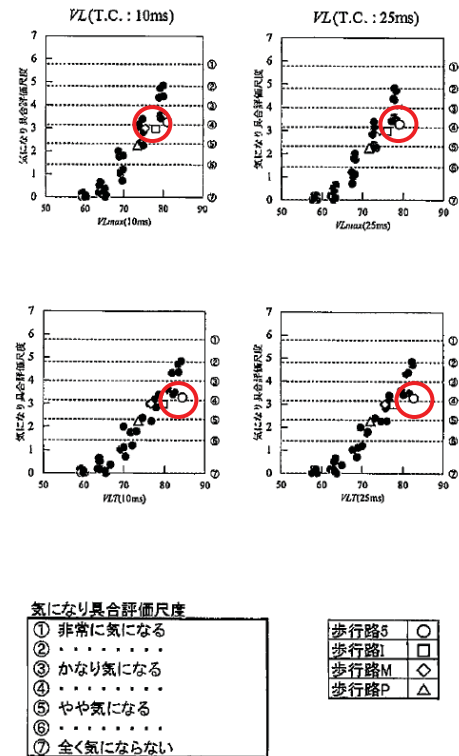


図 16 各性能値と気になり具合評価尺度の対応

図 3.13 歩行振動測定結果評価

4) 官能検査結果

3) の測定に対応する形で複数の検査員を被験者とする官能試験を行った。住居想定、事務所想定のパターンについて、図 3.14 に示す「認知大きさ尺度」と「気になり具合尺度」によるアンケート評価を行った。結果として 2 階床振動の認知度は、両方のパターン共「②やや大きく感じる～③はっきり気付く」となり、気になり度も「③かなり気になる～④やや気になる」となり、振動測定結果から得た性能値とほぼ整合する結果となった。

認知大きさ尺度と気になり具合評価尺度の対応

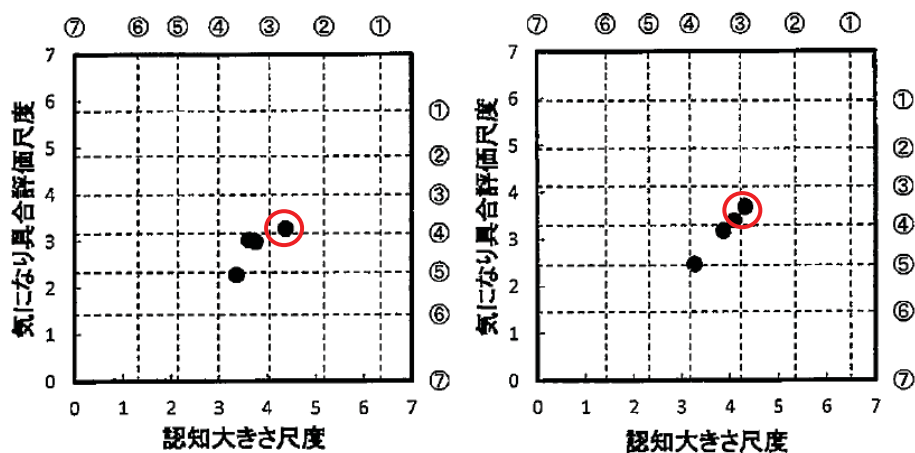


図 3.14 住居を想定した場合（左）と事務所を想定した場合（右）の認知大きさ尺度と気になり具合評価尺度の関係

3.1.5 まとめ

動的測定の結果として、

- ・北見ウッドピアの試験体床は 22.0、25.5、32.0Hz の 3 次モードまでの固有振動数を確認した。
- ・振動減衰には人体は有効な振動吸収体である事、人荷重の有無の影響が大きい事が確認された。
- ・減衰定数については有人載荷は大きく（減衰は早く）、人数が増えるほど増加する傾向にある。

静的測定の結果として、

- ・強軸方向（スパン方向）に緩やかに変形しており端部はピン状態と考えられる。
- ・桁行方向はパネル継ぎ目付近で一時的に連続性が弱くなり変形増加する。
- ・強軸方向、弱軸方向への変形影響は同様（同心円状）である。
- ・静的載荷試験ではパネル継ぎ目で一体性が失われている（動的試験と異なる）。
- ・強軸方向でもパネル継ぎ目付近では変形し易い。

歩行振動測定の結果として、

- ・セミナーハウス床の振動性能は、認知度で「③はっきり気付く」、気になり度で「④かなり気になる～やや気になる」の範疇と評価された。

官能検査の結果として、

- ・床振動認知度は、「②やや大きく感じる～③はっきり気付く」、気になり度も「③かなり気になる～④やや気になる」となり歩行振動測定の結果評価とほぼ整合する結果となった。
- ・これまでに行った CLT 床によける歩行振動測定結果を一覧比較すると表 3.4 のように整理される（勝どきフーダーズスタジオについては 3.2 で述べる）。

	オホーツク ウッドピア	勝どきフーダーズ スタジオ	森林総研1	森林総研2	
スパン(mm)	4550	4600	4000	5500	
床CLT厚(mm)	210(7層)	210(7層)	150(5層)	210(7層)	
CLT材質(気乾密度(g/cm ³))	北海道産カラマン(0.496)	九州産スギ(0.38※)			
壁体厚さ(mm)	150(GLT)	150(GLT)	90(GLT)	90(GLT)	
壁-床の接合	U字金物、L字金物	ネジ黒固定(斜め打ち)			
備考	裏挿床	裏挿床	ステージ床	ステージ床	
100kgf静的載荷	I5	K点	K点	K点	
中心点載荷時変位(mm)	0.093	0.178	0.360	0.234	
固有振動数					
1次固有振動数(Hz)	22.0	20.0	23.5	19.0	
2次固有振動数(Hz)	25.5				
3次固有振動数(Hz)	32.0				
減衰時間	I5	K点	K点	K点	
床 上0人	1/2減衰時間(s)	0.241	0.088	0.333	0.363
	1/4減衰時間(s)	0.496	0.148	0.516	0.647
	1/8減衰時間(s)	0.765	0.246	0.701	0.878
床 上1人	1/2減衰時間(s)	0.183	0.080	0.193	0.206
	1/4減衰時間(s)	0.362	0.140	0.286	0.357
	1/8減衰時間(s)	0.572	0.211	0.385	0.514
床 上2人	1/2減衰時間(s)	0.207	0.063	0.127	0.180
	1/4減衰時間(s)	0.338	0.114	0.196	0.249
	1/8減衰時間(s)	0.478	0.168	0.245	0.379
官能検査結果(住居)	5行歩行, 14受振	歩行路A, J点受振	歩行路A, J点受振	歩行路A, J点受振	
認知大きき尺度	②～③	③～④	③～④	②～③	
気になり具合評価尺度	③～④	④～⑤	④～⑤	②～③	

※気乾密度は「建築材料用教材」(日本建築学会)p.9 表4より引用

表 3.4 床歩行振動測定・評価結果一覧

減衰時間の長短が評価尺度に寄与する事は、これまでの経験から予想できるが、表 3.4 からは減衰性能が類似するにも係らず静的荷重による微小変形性能は全く異なる結果である。考えられるパラメータ（荷重や材質、壁床端部接合、パネル間接合など）について議論を行った結果、北見と森林総研の相違の原因として大きい要因と予想する壁床端部の接合に関し、同質の CLT 材料による床パネル端部の固定度（荷重の大小や接合方法など）に関する端部固定度評価試験をまず行う必要があると結論付けた。

3.1.6 今後の方針

- 1) 昨年度事業で実施した CLT 床試験体を再現し、荷端部載荷荷重や接合具・金物類の盛替えによる床端部の固定度を変化させることで、これまで実施した測定条件を再現する事を目論見た振動特性の変化を調べる試験を行う。
- 2) 本件測定物件の測定データを基に、有限要素解析により同測定結果を再現できる構造モデル（北見モデル）を構築する。
- 3) 建築学会の新基準（固有振動数と静たわみより誘導する評価基準、あるいは振動レベルの最大値に振動の継続時間の要因を加味した新性能値）を適用できるシミュレーションを行い、その結果からスパン表資料を作成する。

3.2 試験体での再現試験：森林総合研究所

3.2.1 目的

昨年度事業の中で、国立研究開発法人森林総合研究所において、CLT 床試験体を対象として振動特性を把握するための実験を行った。この CLT 床は実建物に組み込まれたものではなく、1階の壁を模擬した枠組壁工法の壁または厚さ 90mm の CLT 壁の上に CLT 床を載せ、床から壁にビス留めしたものであった。一方、実建物を対象とした測定事例についてもこれまで蓄積がなく、勝どきフーダーズスタジオ（以下、単に勝どきと称す）を対象に初めて振動特性を把握するための実験を行った。勝どきの床には 5 層 7 プライでスパン 4.6m のスギ CLT パネルが用いられていた。勝どきの床の固有振動数は 20Hz で、森林総合研究所で実施した 4m スパンの床の固有振動数 23.5Hz や 5m スパンの床の振動数 19Hz とそれほど大きくは違わなかったが、1/2 減衰時間は勝どきの床の方が、森林総合研究所の床に比べて約 1/4 と小さかった。さらに実建物の測定事例を増やすために、協同組合オホーツクウッドピア内 CTL セミナーハウス（以下、単に北見と称す）の床の振動特性を測定する機会を得た。北見の床には 7 層 7 プライでスパン 4.55m のカラマツ CLT パネルが用いられていた。北見の床の一次固有振動数は 22Hz であり、他の測定事例と大きな差はなかったが、1/2 減衰時間は勝どきの 3 倍近くあった。これらの減衰時間の差が何によって生じているかについて議論した結果、床端部の固定度の違いが一つの要因として挙げられた。そこで、同研究所において H26 年度に試験体に使用した CLT 壁とスパン 5.5m、5 層 7 プライの CLT 床を再利用して新しい試験体を作成し、床端部の接合部仕様や端部に載せる荷重を変えることにより床端部の固定度を変化させ、床の振動特性を把握するための実験を行った。

3.2.2 実験場所

国立研究開発法人 森林総合研究所 屋外実験場（茨城県つくば市）

3.2.3 実験の日程

平成 27 年 11 月 27 日 鋼製基礎組立、30 日 試験体組立

12 月 18 日 おもり載荷、19 日 実験、おもり除荷

3.2.4 試験体

図 3.15 に試験体の概要を示す。北見モデル、勝どき+ α モデル、森林総研+ α モデルは長手方向に 1600kg、短手方向に 1410kg のおもりを載せた。また、勝どきモデルには長手方向に 1000kg、短手方向に 900kg のおもりを載せた。

3.2.5 試験方法

次の手順で実施した（図 3.16～図 3.51 参照）。

1) 北見型再現積載（北見モデル）

①動的加振試験（ハンマー加振）

- a. K 点加振
- b. J 点に 1 人乗って K 点加振

- c. J 点に 1 人, J' 点にもう 1 人乗って K 点加振
- d. J 点加振

②歩行振動試験

- a. 歩行路歩行
- b. J 点に 1 人乗って歩行者歩行

③静的載荷試験

- a. K 点載荷
- b. J 点載荷

2) 勝どき型再現積載 (勝どきモデル)

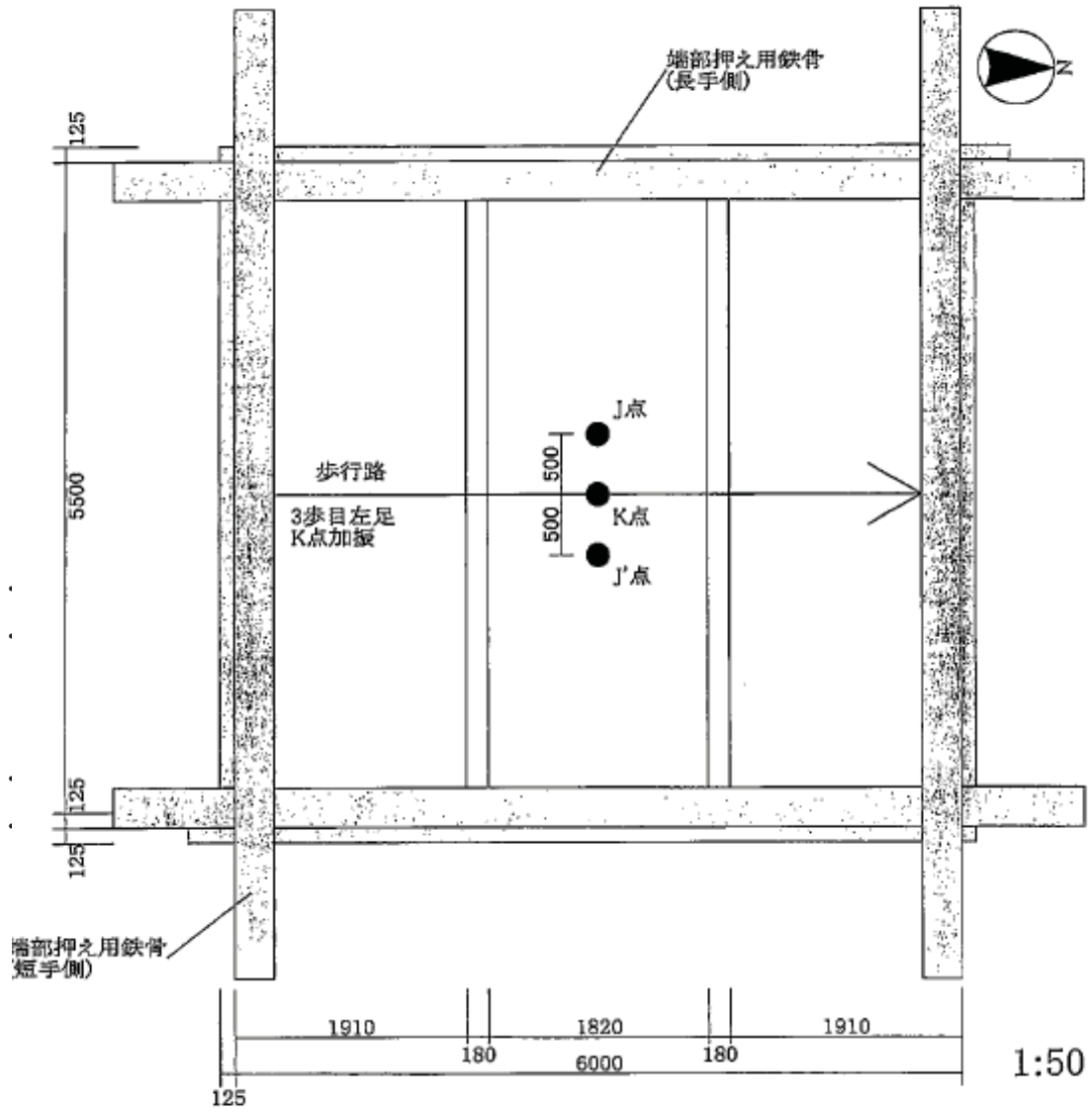
- 1. と同じ順序で 8 項目

3) 勝どき型 + α (勝どき + α モデル)

- 1. と同じ順序で 8 項目

4) 森林総研型 + α (森林総研 + α モデル)

- 1. と同じ順序で 8 項目



K点:加振点
J点:受振点
この2点の裏側に光学変位計, 加速度計を設置。

図 3.15 試験体概要図



図 3.16 CLT 床板
(5.5m×4m、5層7プライ)



図 3.17 CLT 壁
(CLT、3層3プライ)



図 3.18 5.5m (強軸方向) ×6m (弱軸方向) の床構面を再現



図 3.19 壁は土台に斜めビス打ちで固定



図 3.20 壁のコーナー部分はビス平打ち



図 3.21 CLT 壁どうしの接合はビス斜め打ち



図 3.22 CLT 床版 (5.5m×2m) 1 枚目を壁に載せる



図 3.23 CLT 床版 (5.5m×2m) 2 枚目を壁に載せる



図 3.24 スプライン (28mm 厚構造用合板) をビス留め



図 3.25 404 材を CLT 床版にビス留め



図 3.26 北見モデル : L 形金物を 404 材と CLT 床版にビス留め



図 3.27 北見モデル : L 形金物を CLT 床版と CLT 壁にビス留め



図 3.28 北見モデル:CLT 床版どうしを
帯金物でビス留め



図 3.29 北見モデル:測定準備風景
(1)

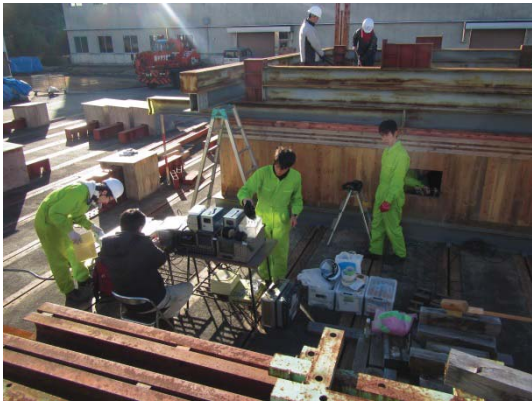


図 3.30 北見モデル:測定準備風景
(2)

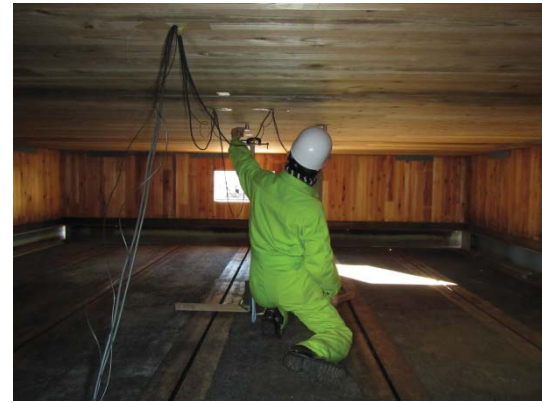


図 3.31 北見モデル:変位計と加速度
計の設置



図 3.32 北見モデル:J 点に 1 人乗って
K 点加振



図 3.33 北見モデル:J 点に 1 人、J' 点にもう 1 人乗って K 点加振



図 3.34 北見モデル：歩行路歩行



図 3.35 北見モデル：J 点に 1 人乗って
歩行者歩行

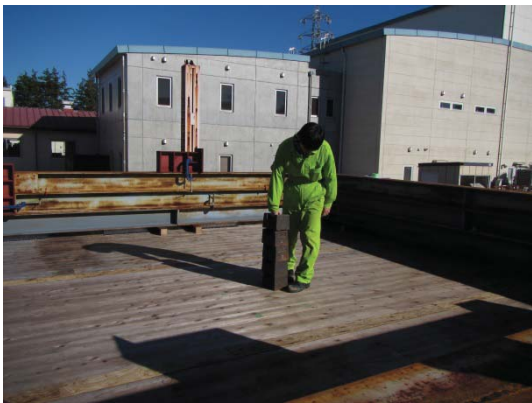


図 3.36 北見モデル：K 点載荷 (0.98kN)



図 3.37 404 材と L 形金物を外す



図 3.38 勝どきモデル：CLT 床版にビス
平打ち

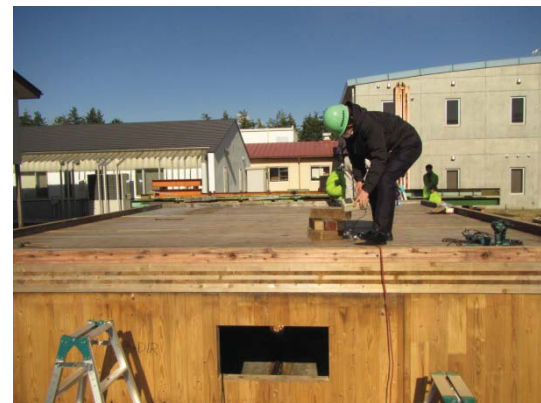


図 3.39 勝どきモデル：404 材をビス留
め



図 3.40 勝どきモデル：K 点加振



図 3.41 勝どきモデル：J 点に 1 人乗って歩行者歩行



図 3.42 勝どきモデル：K 点载荷
(0.98kN)



図 3.43 勝どき+ α モデル：K 点加振



図 3.44 勝どき+ α モデル：J 点に 1 人乗って K 点加振



図 3.45 勝どき+ α モデル：J 点に 1 人、J' 点にもう 1 人乗って K 点加振



図 3.46 勝どき+ α モデル：歩行路歩
行



図 3.47 404材を取り外す



図 3.48 森林総研+ α モデル：床から
壁へ斜めビス留め



図 3.49 森林総研+ α モデル：床から
壁へ平打ちしていたビスを取りはずす



図 3.50 森林総研+ α モデル：404材を
ビス留め



図 3.51 森林総研+ α モデル：K点加振

3.2.6 試験結果

1) 0.98kN (100kgf) 静的載荷試験

図 3.52 に、各モデルの K 点、J 点にそれぞれ 0.98kN (100kgf) 載荷したときの K 点、J 点の変位を示す。

変位(mm)	北見モデル		勝どきモデル		勝どき + α モデル		森林総研 + α モデル	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
K点載荷	0.185	0.172	0.201	0.182	0.202	0.181	0.212	0.190
J点載荷	0.167	0.177	0.179	0.182	0.192	0.201	0.198	0.199

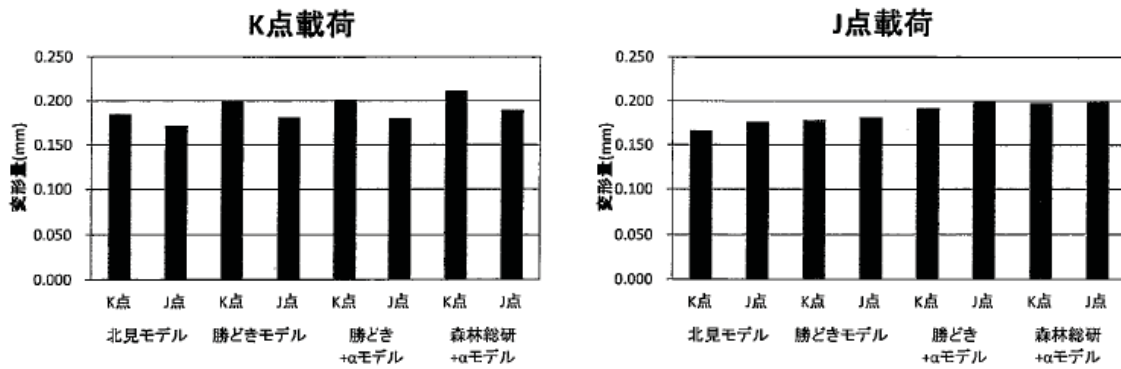


図 3.52 0.98kN (100kgf) 静的載荷試験結果

表 3.5 に各モデルの固有振動数を、表 3.6 に各モデルの減衰定数を、表 3.7～8 に各モデルの減衰時間を示す。

表 3.5 各モデルの固有振動数

北見モデル			勝どきモデル			勝どき+ α モデル			森林総研+ α モデル		
K点加振	K点	J点	K点加振	K点	J点	K点加振	K点	J点	K点加振	K点	J点
1次固有振動数(Hz)	17.00	17.00	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00	1次固有振動数(Hz)	16.50	16.50	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00
3次固有振動数(Hz)	37.50	38.50	3次固有振動数(Hz)	38.00	38.00	3次固有振動数(Hz)	37.00	37.00	3次固有振動数(Hz)	38.50	38.50
K点加振 J点に加振者1名	K点	J点	K点加振 J点に加振者1名	K点	J点	K点加振 J点に加振者1名	K点	J点	K点加振 J点に加振者1名	K点	J点
1次固有振動数(Hz)	17.00	17.00	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00	1次固有振動数(Hz)	16.50	16.50	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00
3次固有振動数(Hz)	39.00	39.00	3次固有振動数(Hz)	38.00	38.00	3次固有振動数(Hz)	37.00	37.00	3次固有振動数(Hz)	38.00	38.00
K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	J点	K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	J点	K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	J点	K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	J点
1次固有振動数(Hz)	17.00	17.00	1次固有振動数(Hz)	16.50	16.50	1次固有振動数(Hz)	16.50	16.50	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00
3次固有振動数(Hz)	39.00	39.00	3次固有振動数(Hz)	38.00	38.00	3次固有振動数(Hz)	37.00	37.00	3次固有振動数(Hz)	38.50	38.50
J点加振	K点	J点	J点加振	K点	J点	J点加振	K点	J点	J点加振	K点	J点
1次固有振動数(Hz)	17.00	17.00	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00	1次固有振動数(Hz)	16.50	16.50	1次固有振動数(Hz)	16.00	16.00
3次固有振動数(Hz)	39.00	39.00	3次固有振動数(Hz)	38.00	38.00	3次固有振動数(Hz)	37.00	37.00	3次固有振動数(Hz)	38.50	38.00

表 3.6 各モデルの減衰定数

北見モデル						勝どきモデル					
減衰定数(%)		1回目	2回目	3回目	平均	減衰定数(%)		1回目	2回目	3回目	平均
K点加振	K点	2.79	3.47	3.35	3.20	K点加振	K点	3.30	4.02	4.23	3.85
	J点	3.10	3.37	3.68	3.38		J点	3.43	4.62	4.01	4.02
K点加振 J点に加振者1名	K点	4.59	3.89	3.86	4.11	K点加振 J点に加振者1名	K点	3.59	5.91	4.75	4.75
	J点	3.23	3.18	3.64	3.35		J点	3.99	5.49	4.57	4.68
K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	4.75	5.43	6.13	5.44	K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	4.93	4.74	4.72	4.80
	J点	4.15	5.38	5.46	5.00		J点	4.66	4.68	4.82	4.72
J点加振	K点	3.67	3.44	3.44	3.52	J点加振	K点	4.24	4.43	3.62	4.10
	J点	3.17	3.31	3.11	3.20		J点	4.50	3.28	4.31	4.03
勝どき+ α モデル						森林総研+ α モデル					
減衰定数(%)		1回目	2回目	3回目	平均	減衰定数(%)		1回目	2回目	3回目	平均
K点加振	K点	2.90	3.07	3.00	2.99	K点加振	K点	2.27	3.00	2.63	2.63
	J点	2.95	3.21	3.17	3.11		J点	2.59	3.47	2.99	3.02
K点加振 J点に加振者1名	K点	4.83	5.41	5.39	5.21	K点加振 J点に加振者1名	K点	5.55	5.25	5.46	5.42
	J点	4.85	5.06	5.48	5.13		J点	5.67	5.28	5.61	5.52
K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	4.66	4.68	4.96	4.77	K点加振 J点に加振者1名 J'点に加振者1名	K点	5.83	5.41	5.04	5.43
	J点	4.97	4.82	5.59	5.13		J点	5.66	5.61	5.02	5.43
J点加振	K点	3.67	2.34	2.95	2.98	J点加振	K点	5.91	5.66	5.60	5.72
	J点	3.78	3.47	2.95	3.40		J点	5.97	5.68	5.34	5.66

表 3.7 各モデルの減衰時間 (1)

北見モデル

K点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	68.80	61.20	63.60	48.40	69.60	52.00	67.33	53.87
1/2減衰時間(s)	0.318	0.250	0.323	0.285	0.292	0.331	0.311	0.289
1/4減衰時間(s)	0.587	0.551	0.678	0.668	0.653	0.553	0.639	0.591
1/8減衰時間(s)	0.849	0.900	0.978	1.036	0.962	0.715	0.930	0.884
K点加振 J点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	54.00	40.80	80.00	52.40	64.80	49.60	59.60	47.80
1/2減衰時間(s)	0.208	0.216	0.212	0.182	0.233	0.229	0.218	0.209
1/4減衰時間(s)	0.354	0.378	0.402	0.364	0.438	0.436	0.398	0.393
1/8減衰時間(s)	0.538	0.528	0.677	0.576	0.618	0.650	0.611	0.585
K点加振 J点を受振者1名 J'点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	52.00	42.40	47.60	34.80	50.40	39.60	50.00	38.93
1/2減衰時間(s)	0.191	0.169	0.173	0.181	0.216	0.182	0.193	0.177
1/4減衰時間(s)	0.338	0.341	0.301	0.300	0.372	0.326	0.337	0.322
1/8減衰時間(s)	0.511	0.470	0.403	0.403	0.483	0.414	0.466	0.429
J点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	77.80	55.60	71.60	54.00	67.20	52.80	72.13	54.13
1/2減衰時間(s)	0.286	0.299	0.319	0.326	0.306	0.313	0.304	0.313
1/4減衰時間(s)	0.568	0.598	0.579	0.618	0.588	0.583	0.578	0.600
1/8減衰時間(s)	0.792	0.828	0.977	1.006	0.916	0.924	0.895	0.919

勝どきモデル

K点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	72.00	53.20	88.80	62.40	80.00	61.20	80.27	58.93
1/2減衰時間(s)	0.232	0.287	0.218	0.224	0.240	0.206	0.230	0.239
1/4減衰時間(s)	0.462	0.498	0.428	0.402	0.490	0.391	0.460	0.430
1/8減衰時間(s)	0.707	0.672	0.805	0.586	0.700	0.602	0.737	0.620
K点加振 J点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	80.00	59.20	75.60	62.40	67.20	68.40	74.27	63.33
1/2減衰時間(s)	0.168	0.150	0.162	0.172	0.175	0.151	0.168	0.158
1/4減衰時間(s)	0.292	0.311	0.306	0.301	0.343	0.267	0.314	0.293
1/8減衰時間(s)	0.429	0.413	0.447	0.447	0.519	0.368	0.465	0.409
K点加振 J点を受振者1名 J'点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	48.00	42.00	58.40	45.60	48.00	46.00	51.47	44.53
1/2減衰時間(s)	0.182	0.160	0.181	0.163	0.195	0.120	0.186	0.148
1/4減衰時間(s)	0.332	0.273	0.365	0.323	0.329	0.256	0.342	0.284
1/8減衰時間(s)	0.436	0.395	0.522	0.490	0.442	0.333	0.467	0.406
J点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	96.00	66.00	98.00	69.60	92.00	68.00	95.33	67.87
1/2減衰時間(s)	0.178	0.225	0.184	0.176	0.187	0.200	0.183	0.200
1/4減衰時間(s)	0.404	0.460	0.344	0.431	0.376	0.401	0.375	0.431
1/8減衰時間(s)	0.635	0.618	0.560	0.602	0.639	0.640	0.611	0.620

表 3.8 各モデルの減衰時間 (2)

勝どき+ α モデル

K点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	66.00	64.00	77.60	56.00	77.20	61.60	73.60	60.53
1/2減衰時間(s)	0.292	0.242	0.208	0.231	0.250	0.228	0.250	0.234
1/4減衰時間(s)	0.552	0.497	0.536	0.476	0.502	0.550	0.530	0.508
1/8減衰時間(s)	0.753	7.900	0.751	0.794	0.779	0.796	0.761	3.163
K点加振 J点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	48.80	42.40	54.40	47.20	58.40	49.60	53.87	46.40
1/2減衰時間(s)	0.210	0.185	0.209	0.196	0.212	0.200	0.210	0.194
1/4減衰時間(s)	0.416	0.361	0.378	0.379	0.381	0.382	0.392	0.374
1/8減衰時間(s)	0.602	0.579	0.481	0.606	0.552	0.533	0.545	0.573
K点加振 J点を受振者1名 J'点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	46.00	34.00	50.80	36.80	51.20	40.80	49.33	37.20
1/2減衰時間(s)	0.182	0.200	0.182	0.201	0.192	0.200	0.185	0.200
1/4減衰時間(s)	0.336	0.360	0.341	0.346	0.358	0.360	0.345	0.355
1/8減衰時間(s)	0.511	0.489	0.466	0.465	0.514	0.492	0.497	0.482
J点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	70.00	59.20	66.40	53.20	72.00	57.20	69.47	56.53
1/2減衰時間(s)	0.288	0.253	0.320	0.288	0.348	0.309	0.319	0.283
1/4減衰時間(s)	0.520	0.467	0.605	0.559	0.607	0.551	0.577	0.526
1/8減衰時間(s)	0.766	0.732	0.807	0.791	0.827	0.782	0.800	0.768

森林総研+ α モデル

K点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	72.40	60.80	82.40	67.20	77.20	57.60	77.33	61.87
1/2減衰時間(s)	0.227	0.202	0.200	0.223	0.229	0.233	0.219	0.219
1/4減衰時間(s)	0.445	0.425	0.395	0.428	0.450	0.491	0.430	0.448
1/8減衰時間(s)	0.583	0.614	0.588	0.615	0.662	0.677	0.611	0.835
K点加振 J点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	71.60	48.40	82.40	53.20	75.20	59.20	76.40	53.60
1/2減衰時間(s)	0.137	0.190	0.158	0.212	0.177	0.166	0.157	0.189
1/4減衰時間(s)	0.284	0.332	0.331	0.357	0.336	0.317	0.317	0.335
1/8減衰時間(s)	0.403	0.449	0.460	0.486	0.506	0.507	0.456	0.474
K点加振 J点を受振者1名 J'点を受振者1名	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	55.60	43.60	60.80	45.20	57.60	44.80	58.00	44.53
1/2減衰時間(s)	0.182	0.161	0.166	0.165	0.179	0.187	0.176	0.171
1/4減衰時間(s)	0.318	0.316	0.297	0.287	0.300	0.331	0.305	0.311
1/8減衰時間(s)	0.432	0.405	0.389	0.395	0.390	0.502	0.404	0.434
J点加振	1回目		2回目		3回目		平均	
	K点	J点	K点	J点	K点	J点	K点	J点
ピーク値(cm/s ²)	92.80	63.60	96.80	70.00	62.40	49.20	84.00	60.93
1/2減衰時間(s)	0.194	0.254	0.220	0.222	0.258	0.244	0.224	0.240
1/4減衰時間(s)	0.395	0.448	0.429	0.441	0.458	0.443	0.427	0.444
1/8減衰時間(s)	0.668	0.684	0.672	0.733	0.797	0.853	0.712	0.757

表 3.9 に各モデルの各種物理量を比較した結果を示す。

表 3.9 各モデルの各種物理量を比較した結果

			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
北見モデル	VLmax	t.c.10ms	84.24	82.38	85.41	81.01	83.44	83.30
		t.c.25ms	83.21	80.86	84.72	79.85	82.36	82.20
	VLT(ref60)	t.c.10ms	86.51	84.58	87.49	83.25	85.69	85.51
		t.c.25ms	85.51	83.14	87.01	82.17	84.67	84.50
勝どきモデル	VLmax	t.c.10ms	83.31	82.27	81.78	82.56	82.64	82.51
		t.c.25ms	81.42	80.72	80.12	79.55	80.20	80.40
	VLT(ref60)	t.c.10ms	85.35	84.74	84.05	84.74	84.75	84.73
		t.c.25ms	83.52	83.35	82.49	81.87	82.35	82.72
勝どき + α モデル	VLmax	t.c.10ms	81.07	81.94	81.47	82.34	81.20	81.60
		t.c.25ms	79.50	80.52	80.40	80.88	79.93	80.25
	VLT(ref60)	t.c.10ms	83.28	84.19	83.58	84.60	83.38	83.81
		t.c.25ms	81.77	82.96	82.69	83.16	82.21	82.56
森林総研 + α モデル	VLmax	t.c.10ms	81.38	82.50	82.85	82.01	81.62	82.07
		t.c.25ms	79.08	81.41	81.31	79.88	79.87	80.31
	VLT(ref60)	t.c.10ms	83.28	84.63	84.90	84.11	83.68	84.12
		t.c.25ms	81.15	83.69	83.43	82.09	82.07	82.49

表 3.10 に測定結果一覧を示す。

表 3.10 測定結果一覧

	オホーツク ウッドピア	北見モデル	勝どき フーダース スタジオ	勝どきモデル	勝どき +αモデル	森林総研1	森林総研2	森林総研 +αモデル
スパン(mm)	4550	5600	4600	5500	5600	4000	5900	5900
床CLT厚(mm)	210(7層7ply)	210(5層7ply)	210(7層7ply)	210(5層7ply)	210(5層7ply)	150(5層5ply)	210(5層7ply)	210(5層7ply)
CLT材質(気乾密度(g/cm ³))	北海道産カラマツ (0.496)	スギ (0.38%)	九州産スギ (0.38%)	スギ (0.38%)	スギ (0.38%)	スギ (0.38%)	スギ (0.38%)	スギ (0.38%)
壁体厚さ(mm)	150(CLT)	90(CLT) (床下側のみ)	150(CLT)	90(CLT) (床下側のみ)	90(CLT) (床下側のみ)	90(CLT)	90(CLT)	90(CLT) (床下側のみ)
壁-床の接合	U字金物、L字金物	75×75×500 L字金物 85mmピッチ	床一下壁 320mmビス斜め打ち 300mmピッチ 上壁-床 200mmビス斜め打ち	床一下壁 290mmビス斜め打ち 300mmピッチ 上壁-床 100mmビス斜め打ち 500mmピッチ	床一下壁 280mmビス斜め打ち 300mmピッチ 上壁-床 100mmビス斜め打ち 500mmピッチ	?	?	床一下壁 140mmビス斜め打ち 200mmピッチ
備考	突棟床	試験体 上部壁位置に 長手:1600kg 短手:1410kg 載荷	突棟床	試験体 上部壁位置に 長手:1000kg 短手:900kg 載荷	試験体 上部壁位置に 長手:1600kg 短手:1410kg 載荷	試験体	試験体	試験体 上部壁位置に 長手:1600kg 短手:1410kg 載荷
100kgf静的載荷	IS	K点	K点	K点	K点	K点	K点	K点
中心点変位許容値(mm)	0.093	0.185	0.178	0.201	0.202	0.350	0.294	0.212
固有振動数								
1次固有振動数(Hz)	22.0	17.0	20.0	16.0	16.5	23.5	19.0	16.0
2次固有振動数(Hz)	25.5							
3次固有振動数(Hz)	32.0	37.5		38.0	37.0			38.5
減衰定数(%)	IS	K点		K点	K点			K点
床上0人	2.65	3.20		3.65	2.99			2.63
床上1人	4.14	4.11		4.75	3.21			5.42
床上2人	5.19	5.44		4.59	4.77			5.49
減衰時間	IS	K点	K点	K点	K点	K点	K点	K点
床上0人	1/2減衰時間(s)	0.241	0.311	0.088	0.230	0.250	0.333	0.363
	1/4減衰時間(s)	0.496	0.639	0.148	0.460	0.530	0.516	0.647
	1/8減衰時間(s)	0.765	0.930	0.246	0.737	0.791	0.701	0.878
床上1人	1/2減衰時間(s)	0.183	0.218	0.080	0.169	0.210	0.193	0.208
	1/4減衰時間(s)	0.362	0.399	0.140	0.314	0.392	0.286	0.357
	1/8減衰時間(s)	0.572	0.611	0.211	0.485	0.645	0.385	0.514
床上2人	1/2減衰時間(s)	0.207	0.193	0.083	0.186	0.185	0.127	0.176
	1/4減衰時間(s)	0.338	0.337	0.114	0.342	0.345	0.186	0.249
	1/8減衰時間(s)	0.478	0.466	0.168	0.467	0.497	0.245	0.404
各種物理量	1列歩行							
VLmax	t.e.10ms	78.02	83.30		82.51	81.60	83.05	82.26
	t.e.25ms	76.06	82.20		80.40	80.25		80.31
VLT(ref60)	t.e.10ms	79.62	85.51		84.73	83.81	83.20	84.12
	t.e.25ms	77.60	84.50		82.72	82.56		82.49

※気乾密度は「建築材料用材(日本建築学会)p.9 表4より引用

3.2.7 考察

北見モデルは、静的載荷時の荷重点下の変位が他のモデルよりも、わずかながら小さかった。北見モデルは他のモデルよりも減衰時間が長い傾向があり、他のモデルよりも振動を感じやすいものと思われる。森林総研+ α モデルは勝どき+ α モデルよりも減衰時間が短く、床と壁の固定度の違いで減衰時間に差が生じる結果となった。

勝どきモデルと勝どき+ α モデルとを比較すると、勝どき+ α モデルの方が減衰時間が長く、床の上に載る壁の重量が減衰時間に影響しているものと推察された。

全モデルに対して言えることは、床上に人が乗ること、および乗る人数が増えることによって減衰時間が短くなる傾向がみられたこと、減衰定数については床上に人が乗ると大きくなるが、人数による明確な傾向はみられなかったことである。

3.3 シミュレーション解析

3.3.1 目的

本節では直交集成板CLTを床版に用いる場合における歩行振動性能を指標としたスパン表を作成することを目的として、有限要素法モデルの作成及び実験値との比較検証を行う。実験値との比較検証は、固有モード及び固有振動数の比較、100kgf 載加時の荷重－変形関係の比較を行い、実態に即した直交集成板CLTを用いた床版の解析モデルを設定する。更に歩行振動時の応答加速度の比較検証を行い、解析モデルの妥当性確認を行う。

また、解析パラメーターになりうる床版の端部固定度やスプライン接合の影響を検証した後、パラメトリックスタディを行い、床版の用途、区画の大きさ、直交集成板CLTの仕様及び官能評価等に応じたスパン表を作成する。

平成 27 年度は実験値との比較検証までを行い、次年度以降に床版の端部固定度やスプライン接合の解析モデル化やパラメトリックスタディを行う予定である。

3.3.2 解析概要

資料 p. 135

3.3.3 解析結果

固有モード、固有振動数及び 100kgf 載加時の荷重－変形関係：資料 p. 136～140

歩行振動時の応答加速度：資料 p. 141～155

スプライン接合、木材の密度及び CLT の剛性を規格値とした場合のパラメトリックスタディ：資料 p. 156

3.3.4 結果考察

解析結果から以下のような事項が確認できた。

- 1) 固有モード及び固有振動数は、1 次モード～3 次モードの範囲において概ね 10%以内の誤差で実験値を再現することが可能であった。（ただし、入力データ中の剛性を実験値、みかけのポアソン比は、実験値と解析値が合うように調整を実施した。）
- 2) 100kgf 載加時の荷重－変形関係は、8 種類の載加全てにおいて実験値を再現することができた。
- 3) 歩行振動時の応答加速度の検証において、歩行振動の入力データ（加振者）が同じデータを入力することで、応答加速度及び 1/3 オクターブ分析結果より実験値を再現することができた。また、解析結果と歩行振動実験の各物理量を比較してみても概ね 5%以内で納まっていることが確認できた。
- 4) パラメトリックスタディ結果において、いずれの CLT 床版でも、スプライン接合部有より無の方が、固有振動数がわずかに大きく、変形量がわずかに小さくなっていることが確認できた。いずれの CLT 床版でも、密度 0.496(カラマツ)より 0.4(スギ)の方が、固有振動数がわずかに大きくなっているが、変形量に差がないことが確認できた。7 層 7 プライ実験値より、7 層 7 プライ規格値の方が、剛性が低いいため、固有振動数

が小さく、変形量が大きくなっていることが確認できた。

- 5) パラメトリックスタディ結果における官能検査結果の比較より、スプライン接合部の有無、密度による差はわずかであった。7層7プライ実験値より、7層7プライ規格値の方が、剛性が低いため、VLT が大きく、1段階程度、評価が低くなっていることが確認できた。

3.3.5 今後の課題

- 1) 床版の端部固定度を変化させた場合の実験値と解析値の比較検証
- 2) スパン表を作成する際の入力データ（床版の剛性、みかけのポアソン比、減定数、端部固定度等）の値
- 3) 床版の材料、用途、仕様及び大きさをパラメーターとした歩行振動評価表（スパン表）の作成

3.4 今後の課題

本章では CLT 床の歩行振動性状について実験的・解析的に検討を行ったが、最後のまとめとして、歩行振動に関する今後の課題を挙げる。

まず始めに、現在様々な CLT 床接合方法を採用した実物件が多数建設されていることから、引き続き床歩行振動データを収集し床接合部毎の振動特性を把握すると共に、最適な振動対策を講じるための基礎資料としてデータを蓄積していく必要がある。今年度の検討では、オホーツクウッドピアの接合方法をベースに、比較対照用として別物件（勝どきフーダーズスタジオ）の接合方法など 2, 3 の接合方法について森林総合研究所の実大床試験体で再現実験を行ったが、端部接合方法や上載荷重の違いにより減衰時間に差が現れる結果が得られている。しかし、解析モデルに端部接合方法の影響を組みこむには検証例が少なすぎる事と、他の接合方法も実物件で採用されていることから、ある程度の仕様の違いについては実験的なデータを収集してその影響を考察する必要があるだろう。

また、歩行振動を軽減する端部接合方法や継手接合方法、最適スパンなどを検討し提案する必要もある。端部接合方法については振動性状と関係性がありそうな結果が得られたが、継手の接合方法については今のところ知見がない。面内せん断性能に対しては継手の仕様は重要な因子となり得るが、歩行振動についても同様に影響を及ぼす因子となり得るのか否かについては慎重に検討する必要がある。最適スパンについては、これらの影響を加味した上でパラメトリックスタディを行い、CLT 床の用途（建物の用途）や一区画の大きさ、CLT の樹種や層構成等に応じたスパン表を作成する必要がある。

以上大きく分けて 2 点について引き続き検討を続け、CLT 床が CLT 構造のみならず、集材等建築物や枠組壁工法建築物でも容易に利用できるように技術的資料を提供していくことが重要である。

なお、現状では歩行振動の軽減対策など具体的な提案を行うほど知見が得られていないものの、一般論としては次のような対策が考えられる。まず、歩調の振動数と床の固有振動数が共振しないように、床の固有振動数を 10Hz 以上とすることが一般論としてあげられる。これについては、今年度検討を行った各種 CLT 床仕様でもクリアできている。一方で、減衰時間が長いという特徴が歩行振動の感覚評価にはマイナス要因となっており、気になり度が高い結果に結びついているとも考えられる。従って、歩行振動対策としては、まずは CLT 床の剛性を上げて歩調と共振しないようにしつつ、減衰時間が短くなるような対策を講じることが重要と考えられる。この減衰時間を短くする対策については、端部接合方法や継手接合方法の工夫により多少の効果はありそうだが、抜本的な対策にはならないだろう。あるいは、減衰装置的な要素を CLT 床の上あるいは下に取り付けて減衰を早めるなどの工夫も考えられるが、これも現時点では具体的な事例が見当たらない。歩行振動の軽減対策としては、今暫くデータ収集を続けながら、対策を検討するしか無さそうである。

以上、おもに部材の選定や接合部の仕様などハード面からの対策について検討してきた

が、歩行振動問題を未然に防ぐためには、部屋の配置や動線計画、さらには什器・備品の設置方法など、ソフト面からの対策も有効である。例えば、事務室など頻繁に歩行が行われる部屋と静寂を要する部屋を近接させないなど、加振源と受振体の距離をできるだけ多く取り距離減衰を稼ぐのは、振動環境に配慮した設計の基本である。間仕切り壁の設置なども、有効である。また、供用開始後の動線の位置、長さなども、歩行振動に影響する。大きな振動が発生しやすいスパン中央を避け、かつ何歩も連続して歩行できる長い動線を設けないなどの運用上の工夫も、効果が期待できる。なお、食器棚など微振動でがたつき音が発生する什器・備品を壁際に設置すると、床の変形にともなう微小な傾きによりがたつき音が発生し、体感では感じられないレベルの歩行振動でも、聴覚を介して振動を認知し、苦情につながる事例があることを、付け加える。

資料編

FEM解析概要

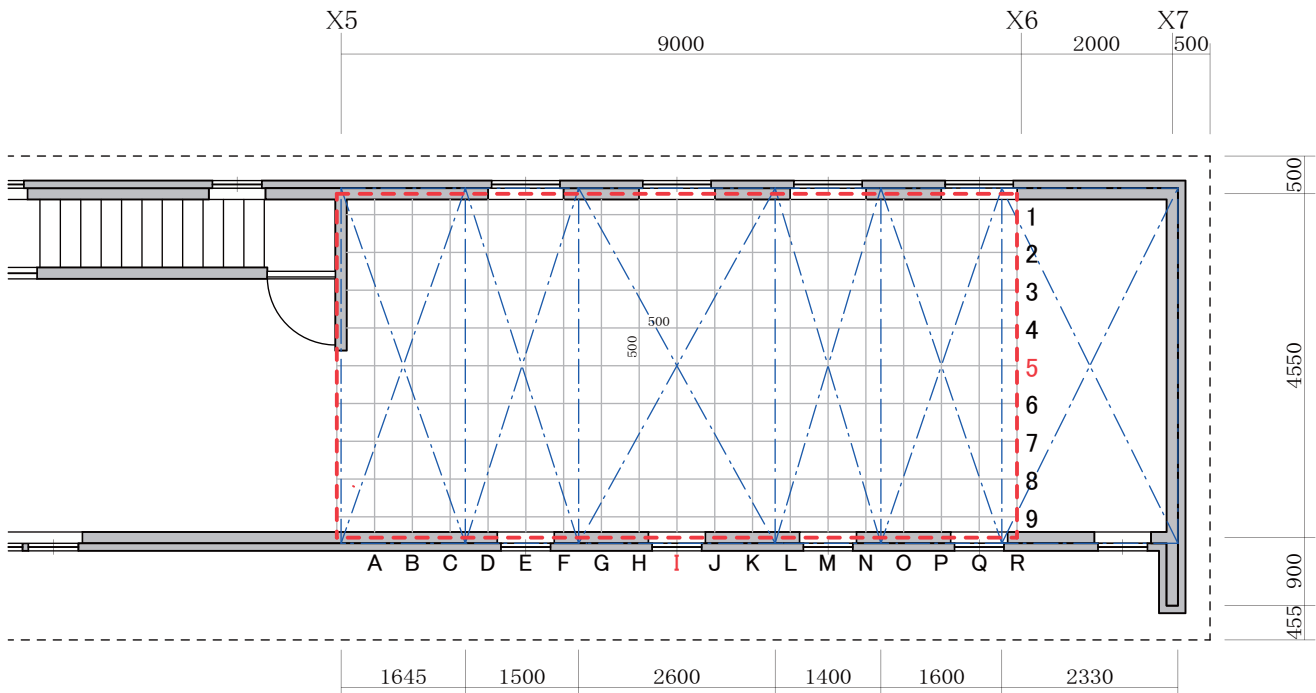


図-1 北見セミナーハウス2階平面図

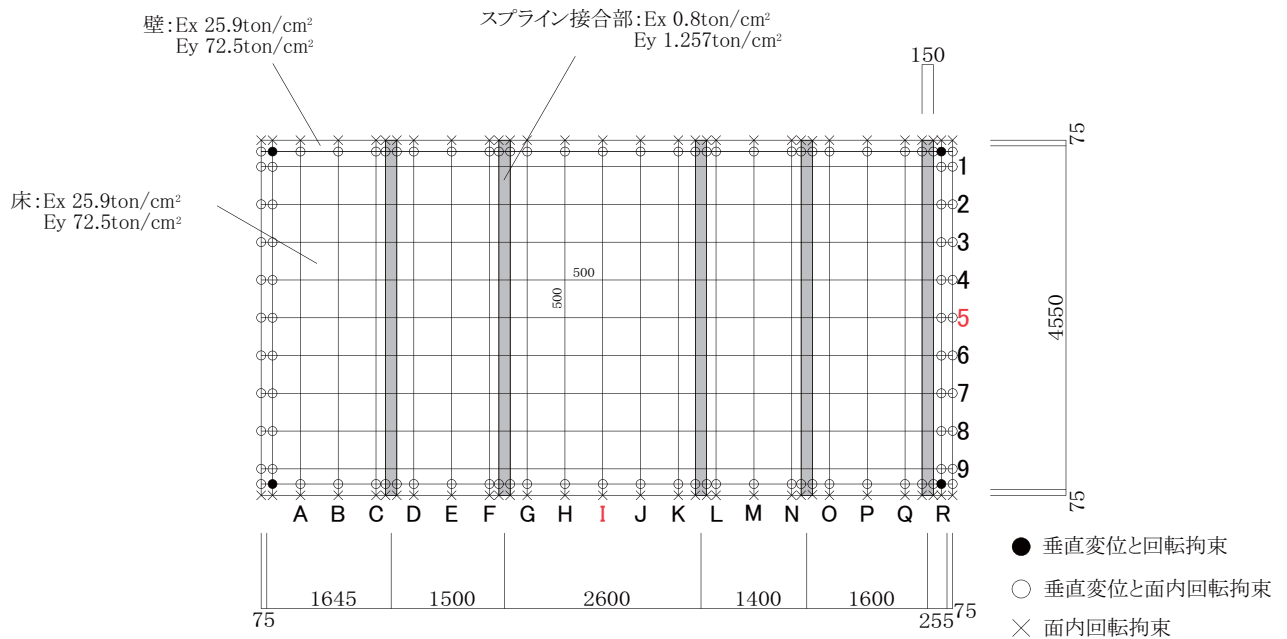


図-2 FEM解析モデル平面図

表-1 入力データ

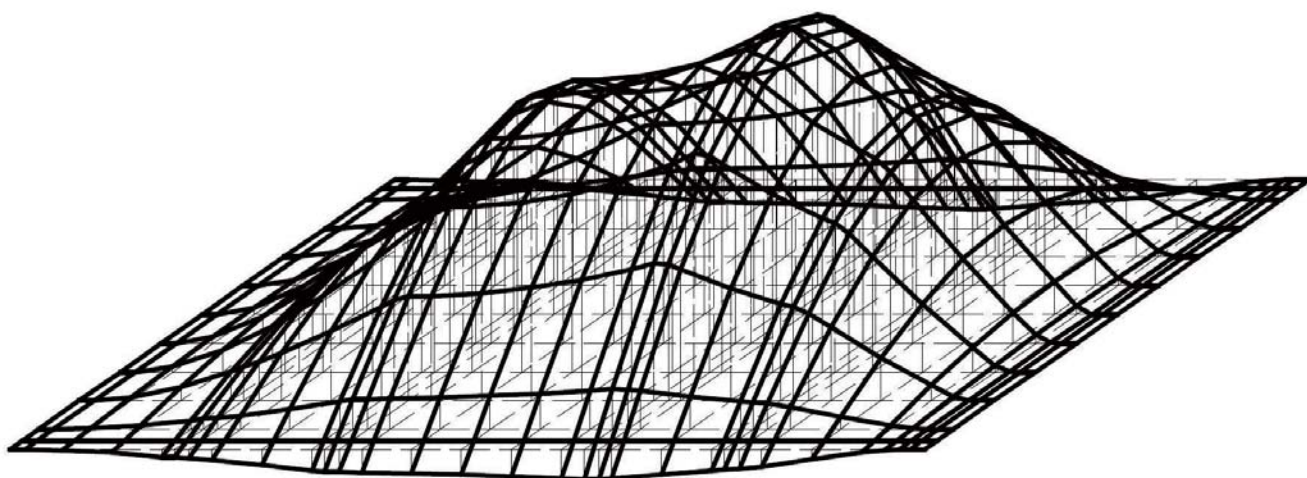
	幅(mm)	厚さ(mm)	Ex(ton/cm ²)	Ey(ton/cm ²)	密度(ton/m ³)	ポアソン比 ν
壁	150	210	25.9	72.5	0.496	0.2
床	—	210	25.9	72.5	0.496	0.2
スプライン接合部	150	210	$34.3 \times (2/7)^3 = 0.8$	$53.9 \times (2/7)^3 = 1.257$	0.496	0.4

※スプライン接合部のExは、24mm厚構造用合板の繊維方向の基準曲げヤング係数を、断面二次モーメントに応じて補正した値。

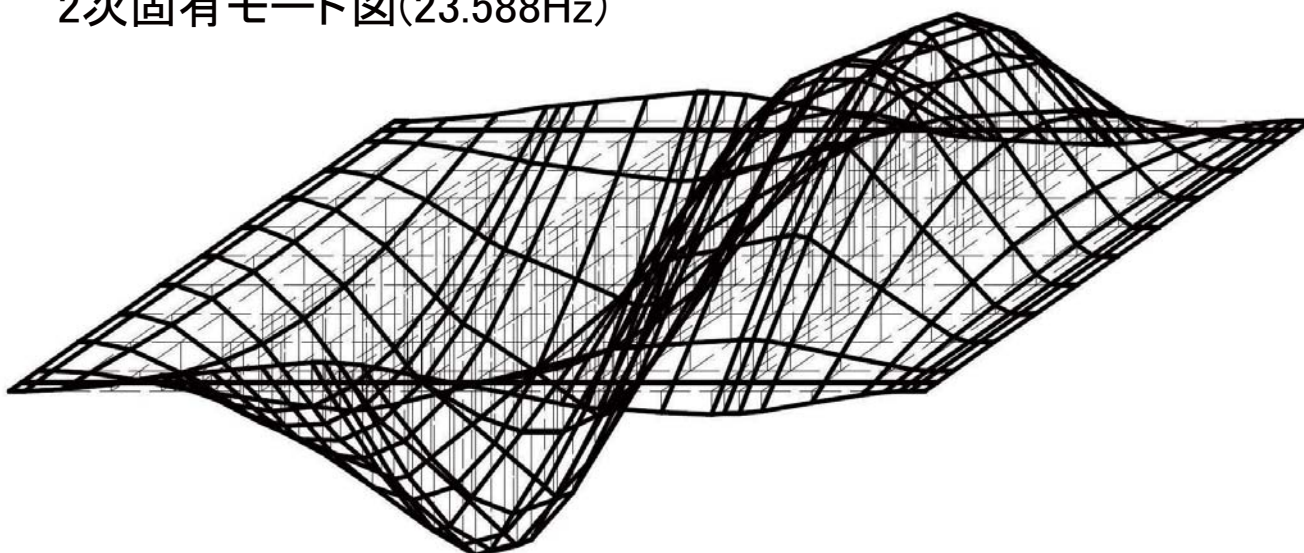
Eyは、24mm厚構造用合板の繊維方向の直交方向の基準曲げヤング係数を、断面二次モーメントに応じて補正した値。

FEM解析結果

1次固有モード図(19.775Hz)



2次固有モード図(23.588Hz)



3次固有モード図(33.226Hz)

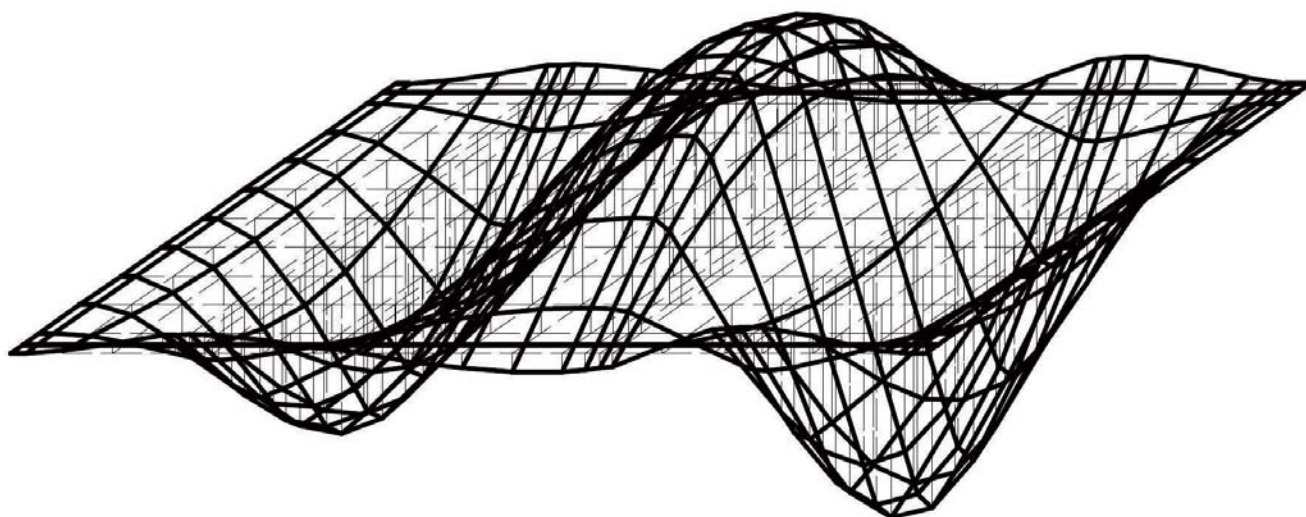
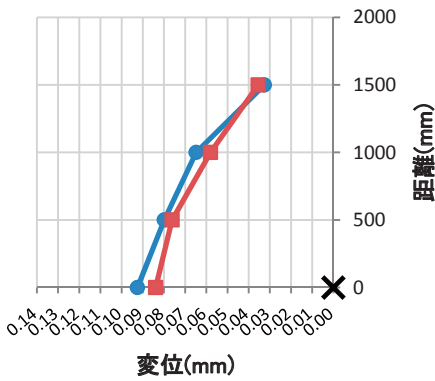
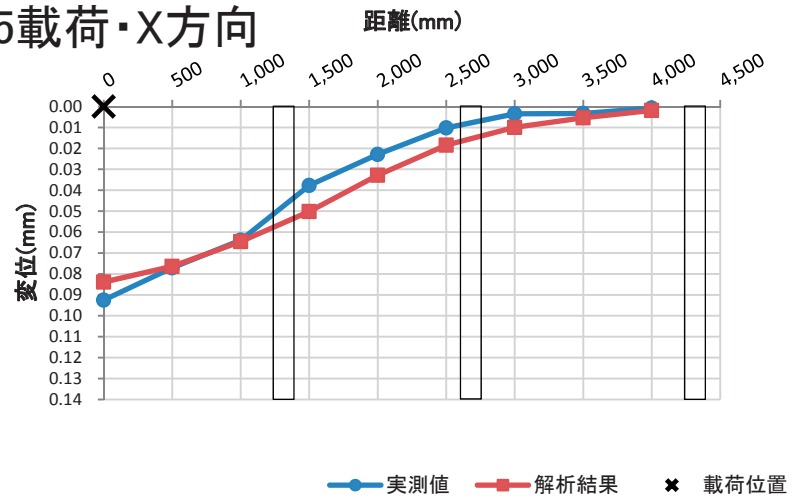


図-3 固有振動数と固有モード図

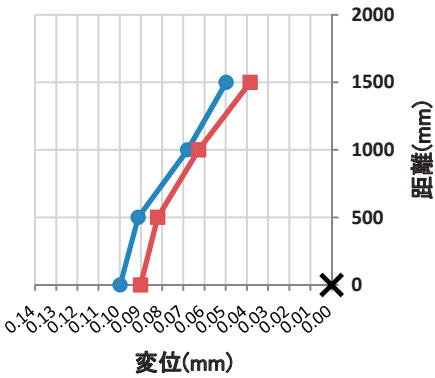
I5載荷・Y方向



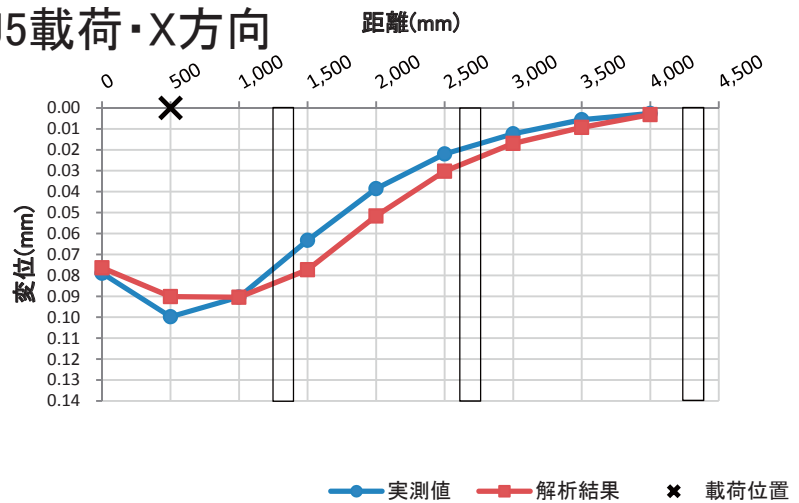
I5載荷・X方向



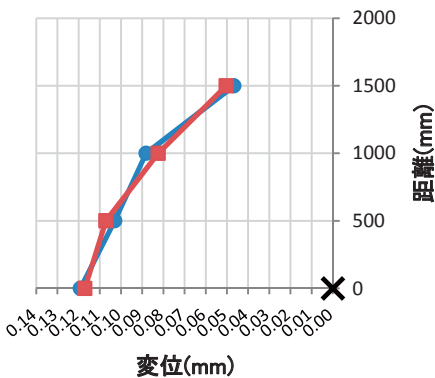
J5載荷・Y方向



J5載荷・X方向



K5載荷・Y方向



K5載荷・X方向

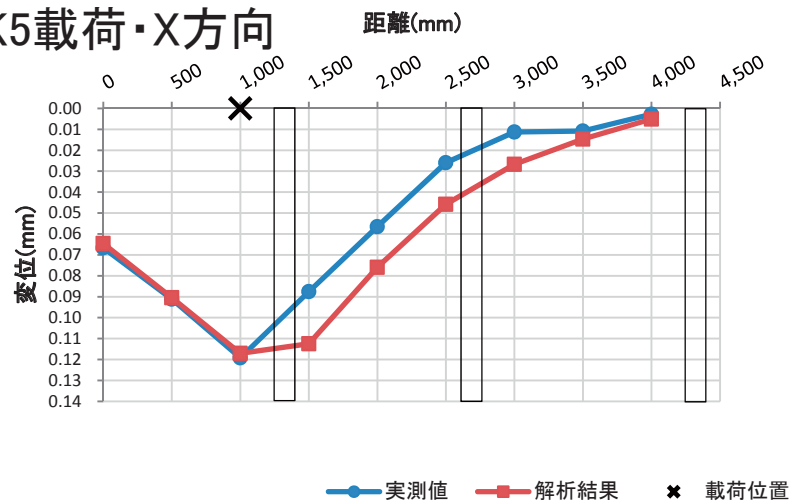
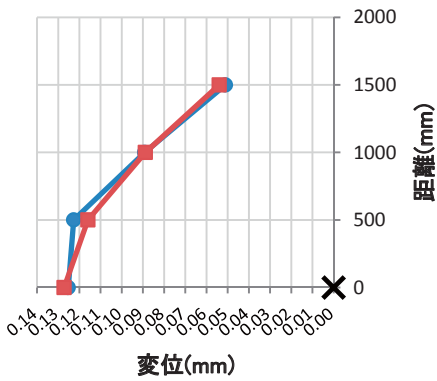
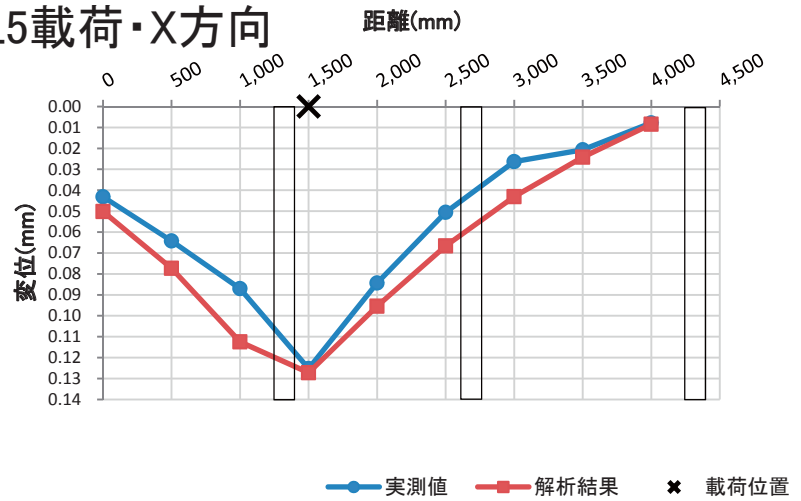


図-4 100kgf静的載荷解析結果 変形量比較図1

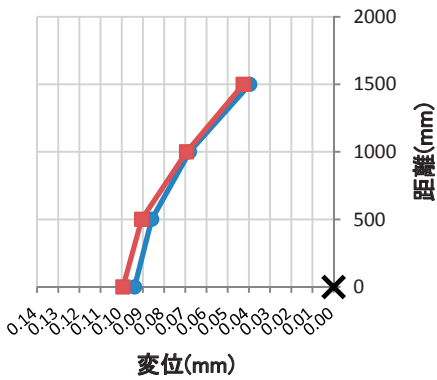
L5載荷・Y方向



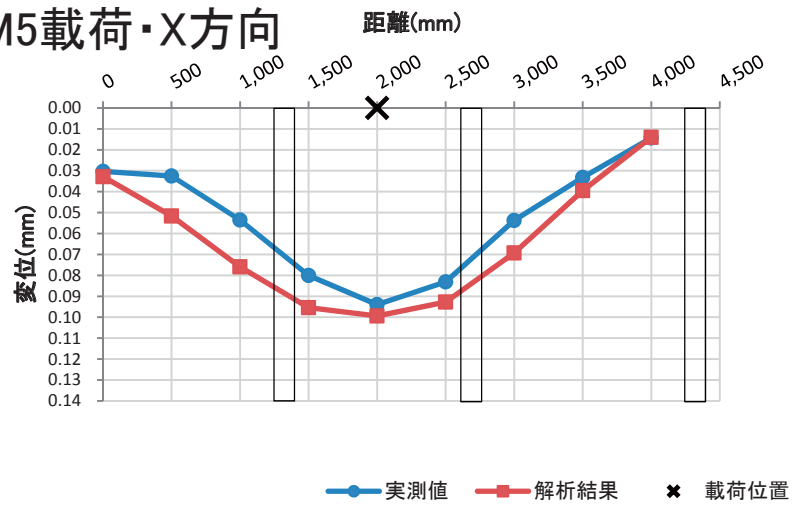
L5載荷・X方向



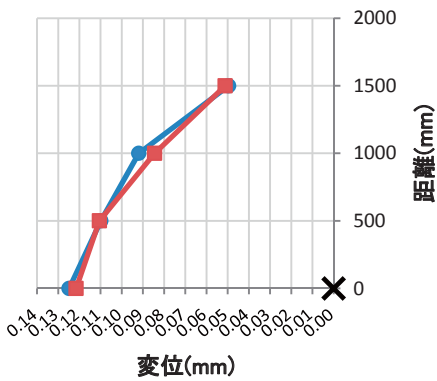
M5載荷・Y方向



M5載荷・X方向



N5載荷・Y方向



N5載荷・X方向

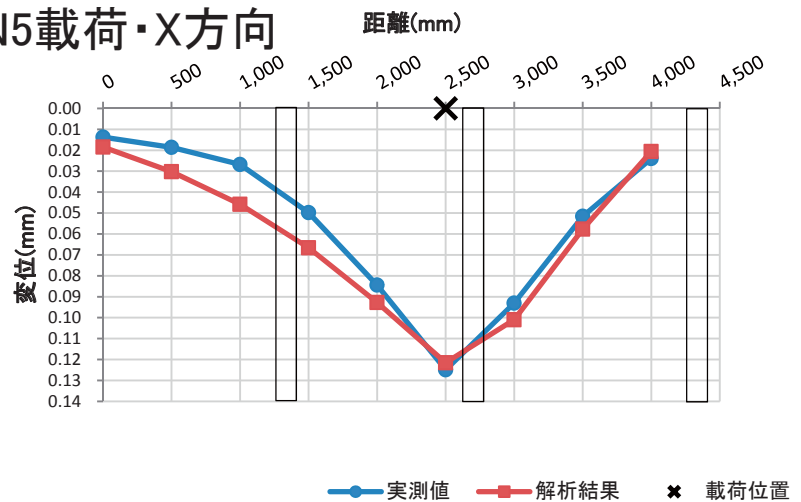
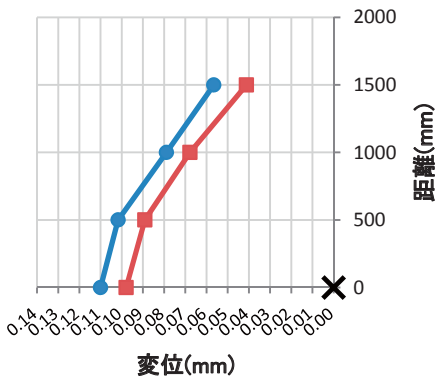
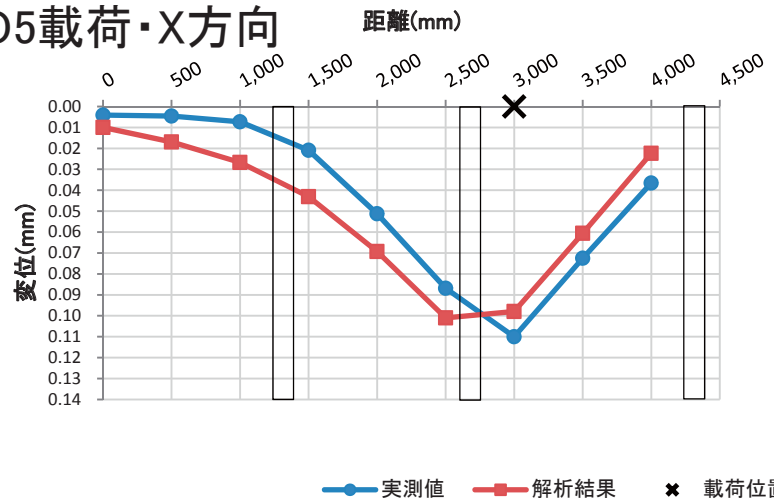


図-5 100kgf静的載荷解析結果 変形量比較図2

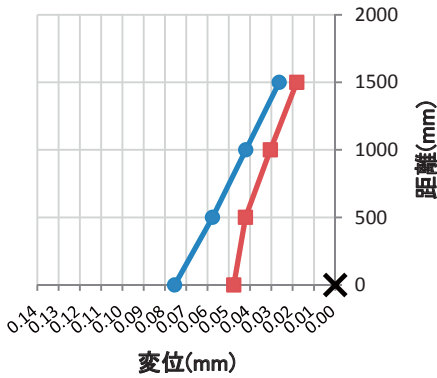
O5載荷・Y方向



O5載荷・X方向



P5載荷・Y方向



P5載荷・X方向

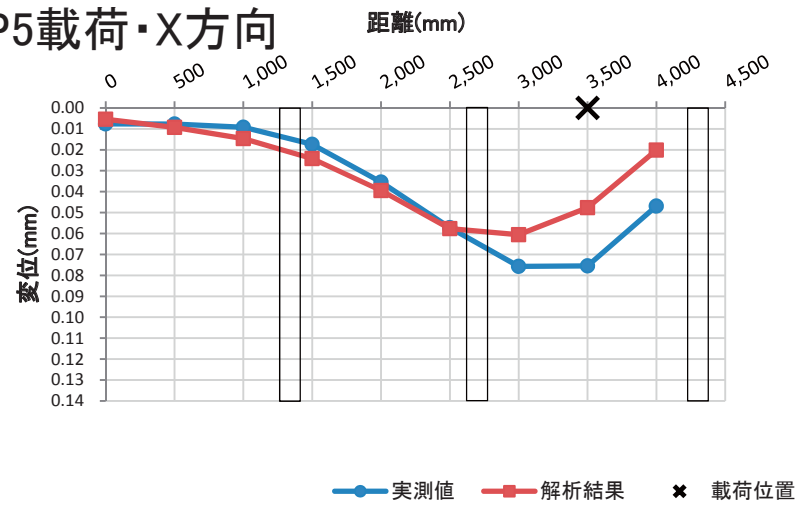


図-6 100kgf静的載荷解析結果 変形量比較図3

固有振動数比較

表-3 固有振動数比較

	1次	2次	3次
実測値(Hz)	22.000	25.500	32.000
解析結果(Hz)	19.775	23.588	33.226
誤差(%)	-10.114	-7.498	3.831

歩行振動の入力

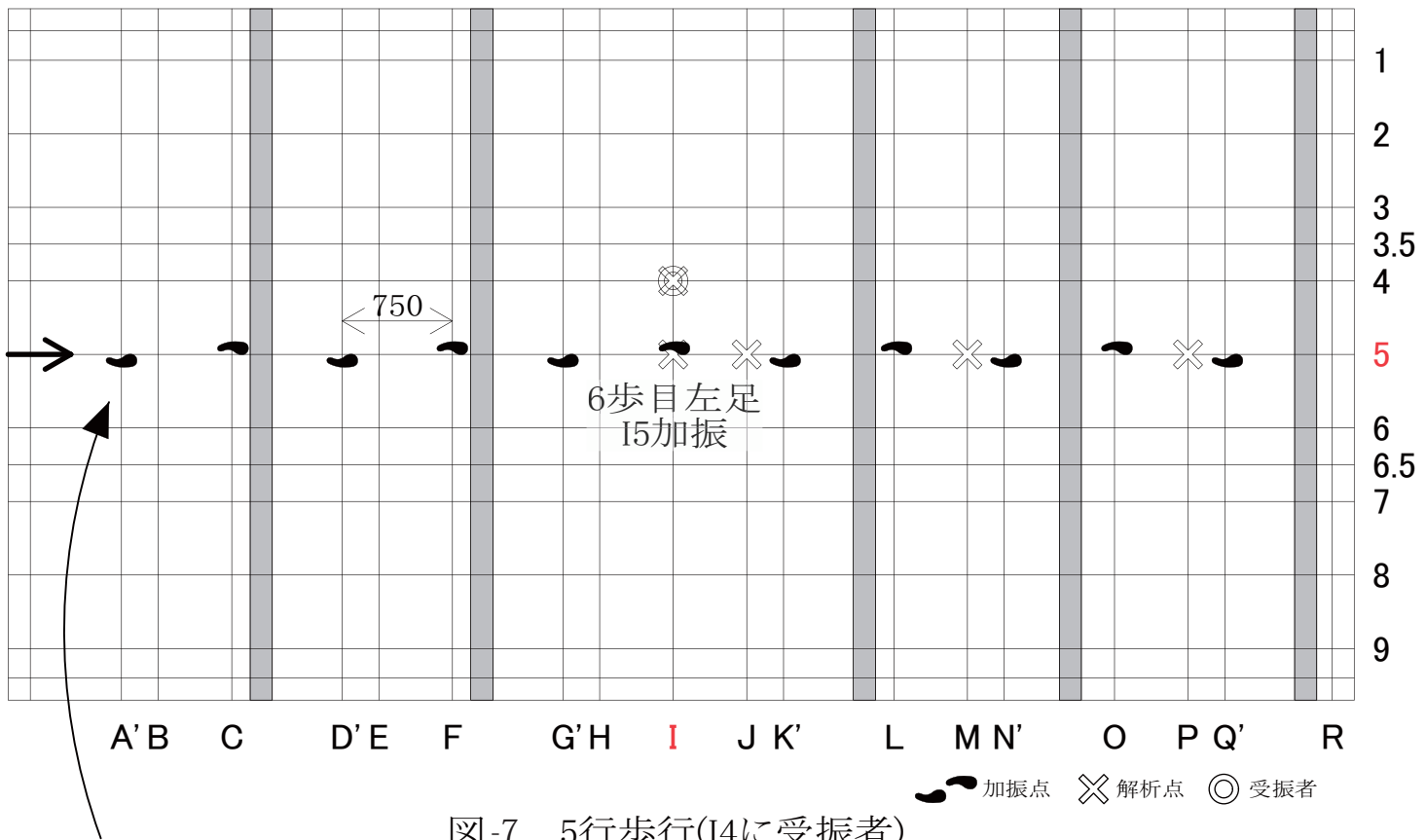
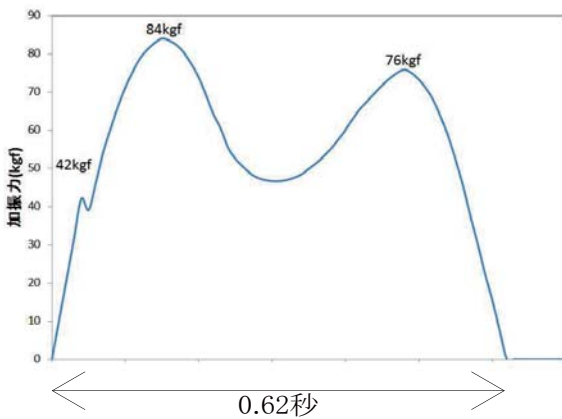


図-7 5行歩行(I4に受振者)

1歩分の歩行波(HokouHの場合)



現場測定時の条件

- 歩行者の体重約70kgf
- 歩調2Hz
- 履物くつ下
- 5行を右方向へ11歩で歩行
- 6歩目(左足)でI5に加振
- I4に受振者(約83kgf)
- I5, I4, J5, M5, P5に加速度計を設置

加振力の設定

- 1歩目に1歩分の歩行波(上図)の加振力を入力
- 0.5秒後に2歩目に1歩分の歩行波の加振力を入力
- 同様に0.5秒間隔(2Hz)で11歩目まで入力
- 床の減衰定数は、床上に2人いる場合のハンマー加振の結果から求めた5.10%とした
- I5, I4, J5, M5, P5の応答変位、応答速度、応答加速度を求めた

I列歩行、M列歩行、P列歩行についても同様に、歩行振動を入力した(次頁図参照)

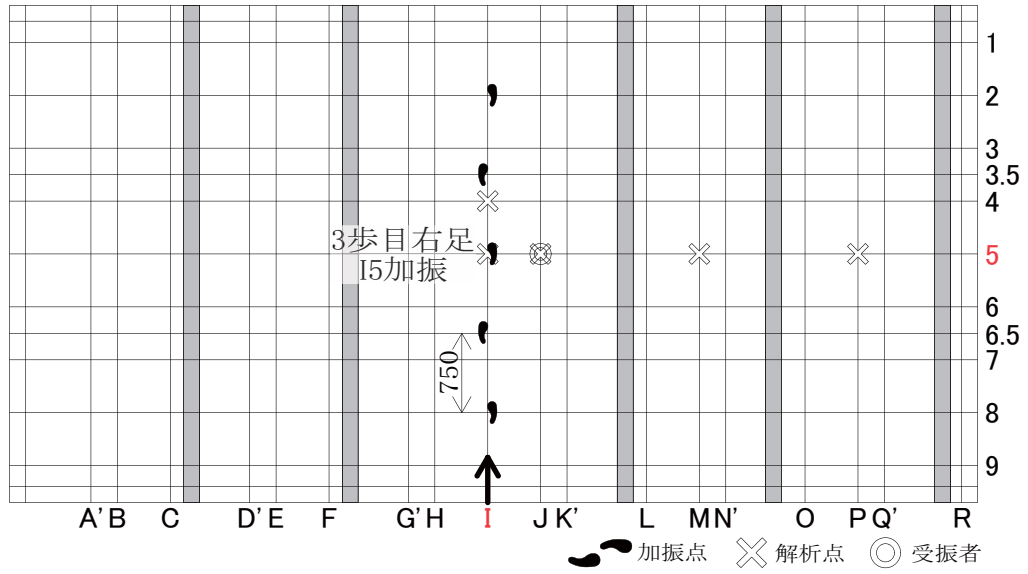


図-8 I列歩行(I5に受振者)

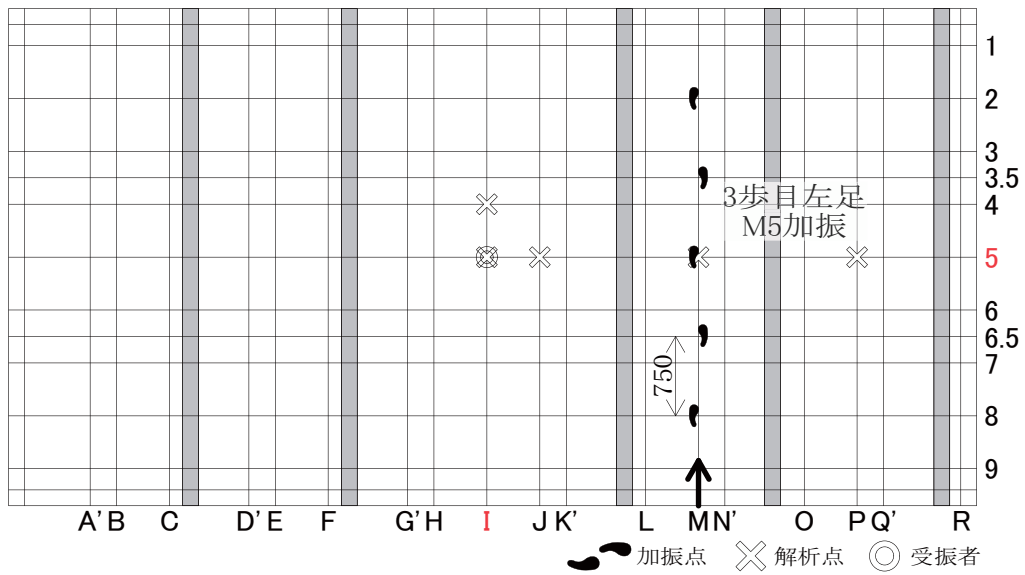


図-9 M列歩行(I5に受振者)

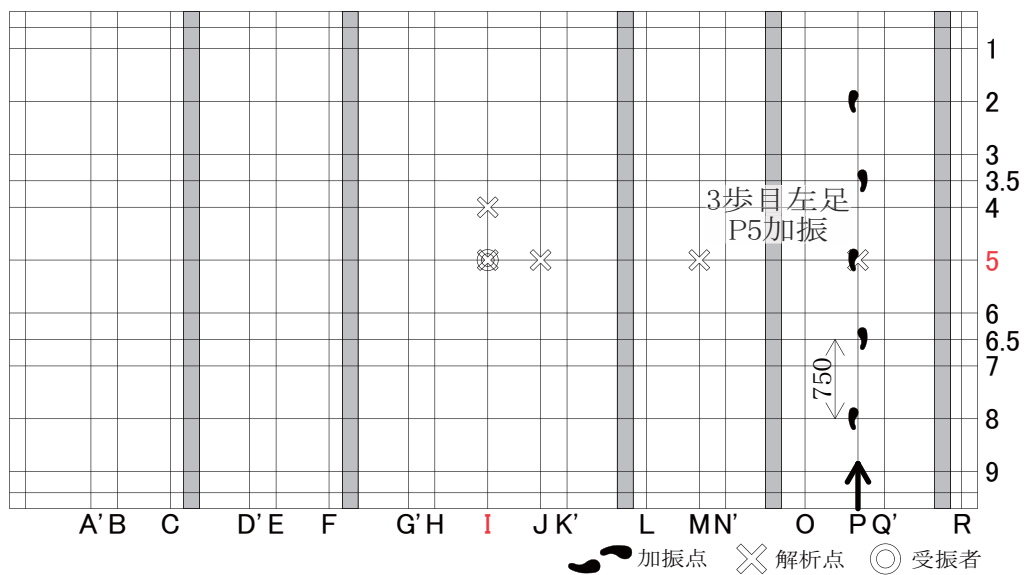


図-10 P列歩行(I5に受振者)

歩行加振力の測定概要

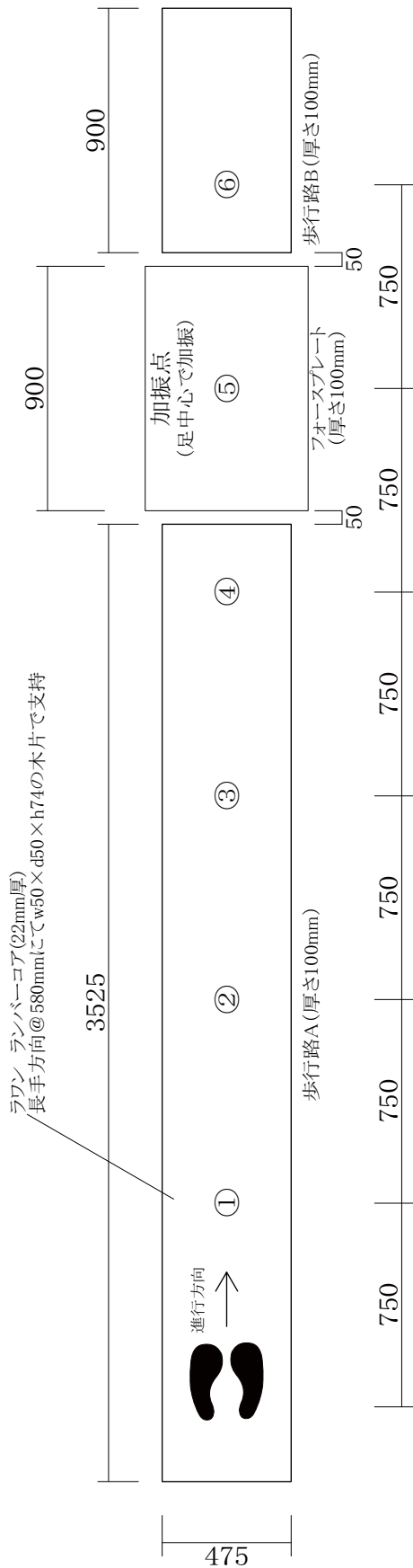


図-11 歩行加振力の測定方法

測定項目

- I, 加振点にて右足5歩目で加振したときの加振力
- II, 加振点にて左足5歩目で加振したときの加振力

測定条件

歩行者: 成人男性1人 (23歳、体重70kg)

履物: くつ下

歩調: 2Hz (メトロノーム使用)

測定手順

- i) 図のように歩行路を設置する。
- ii) 歩行者が実際に歩いて、1歩目から6歩目までの着地位置、加振点に印をつける。
(歩幅は750mmとしてあるが、当日の調子によって自然に加振できるよう調節するため。)
- iii) 測定項目 I の測定を行う。
右足から歩き始め、加振点にて右足で加振し、加振力を記録する。
これを25回行う。
- iv) 測定項目 II の測定を行う。
左足から歩き始め、加振点にて左足で加振し、加振力を記録する。
これを25回行う。

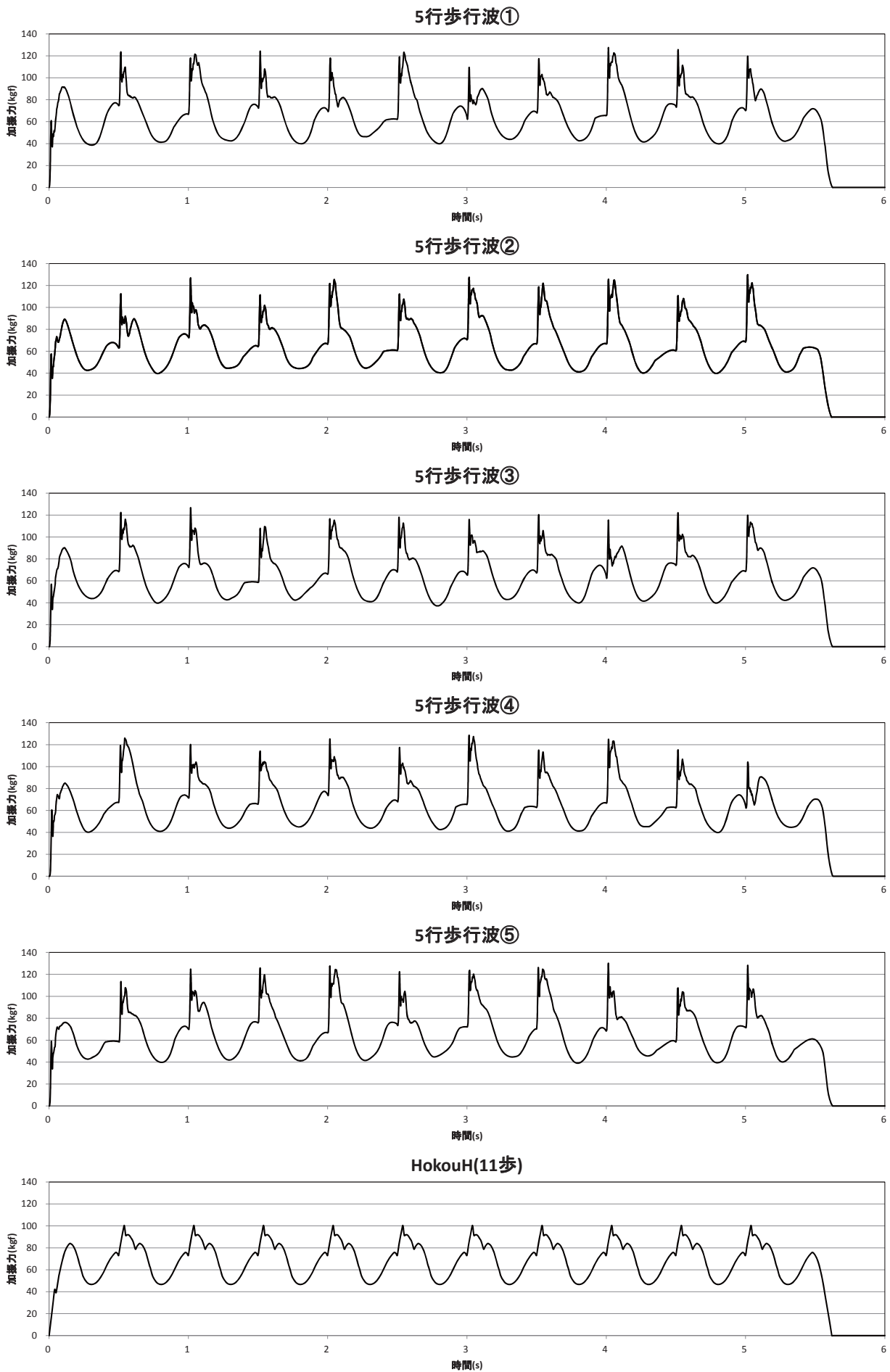


図-12 5行に入力した加振力

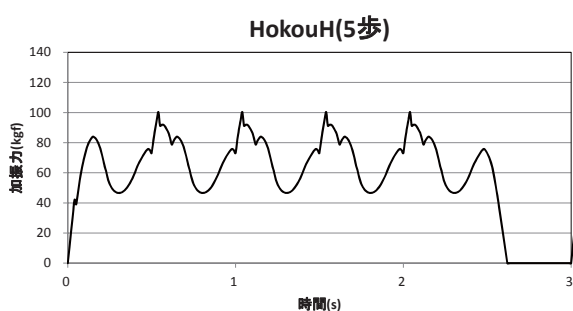
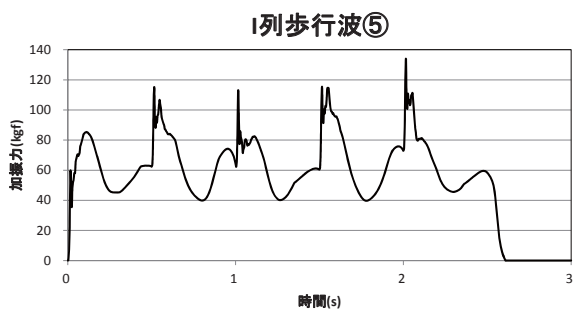
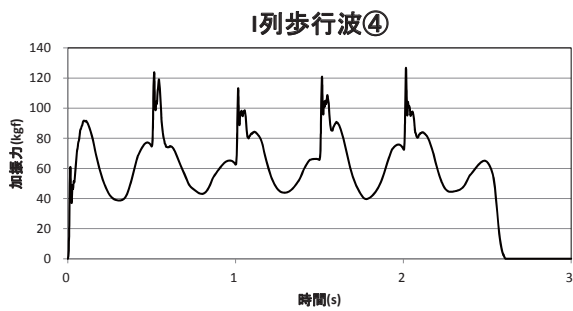
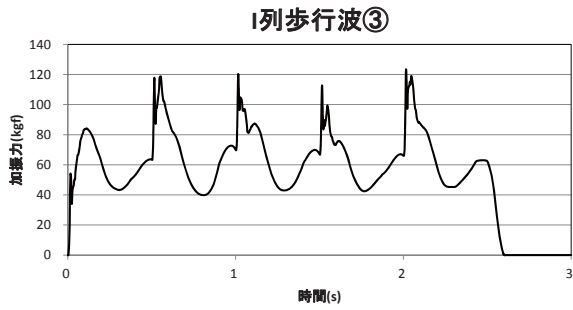
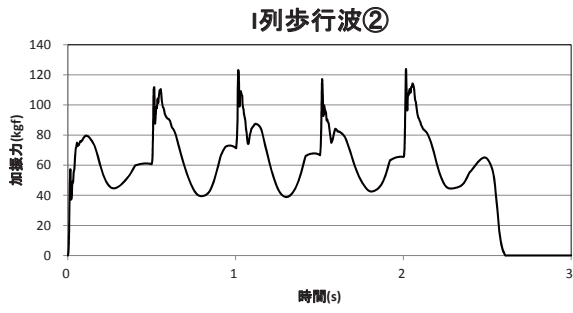
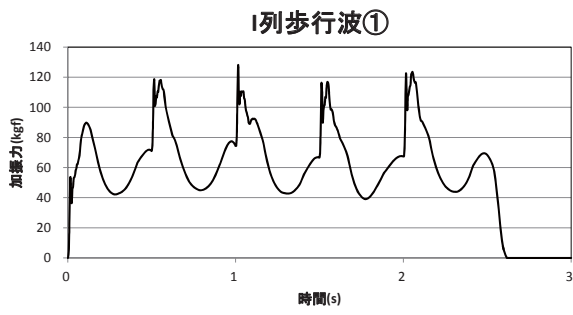


図-13 I列に入力した加振力

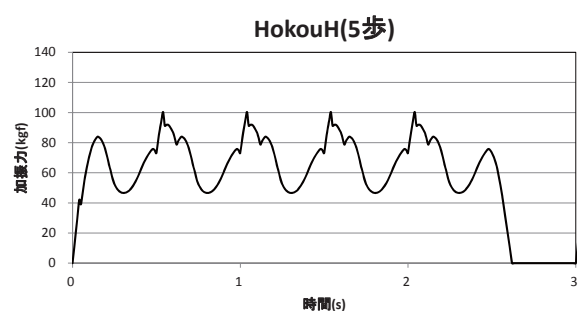
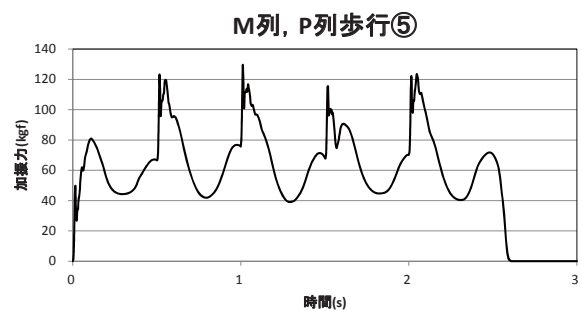
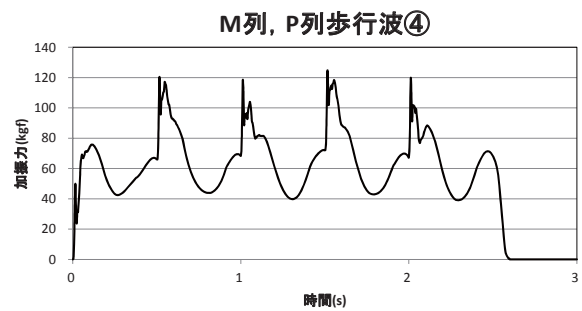
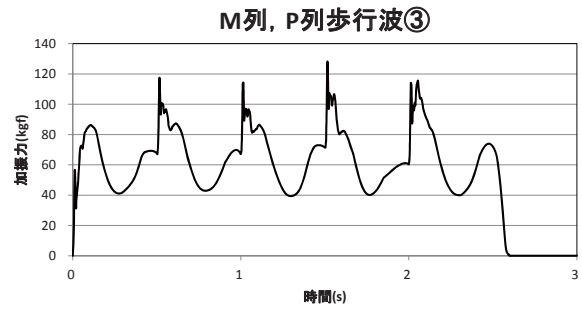
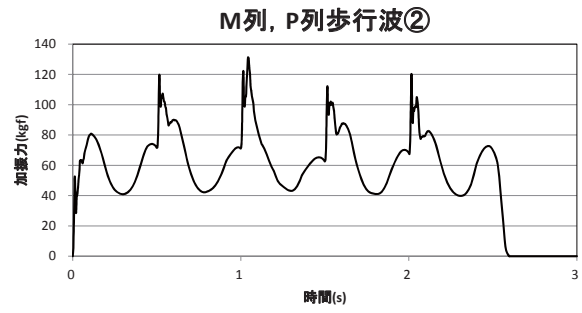
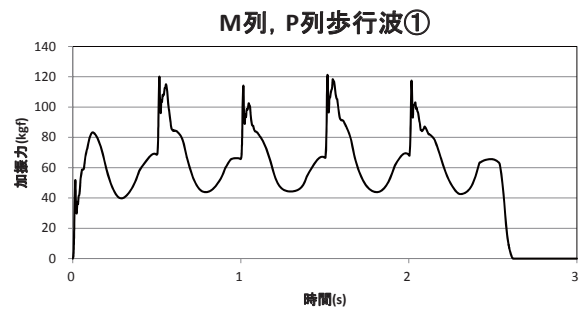


図-14 M列, P列に入力した加振力

歩行加振力1/3オクターブ分析結果

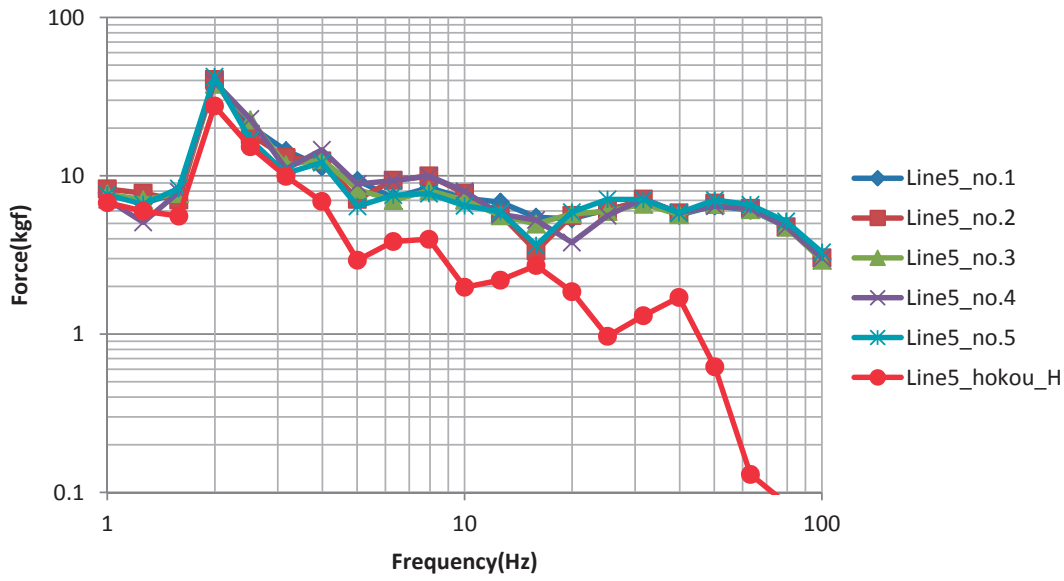


図-15 5行歩行波

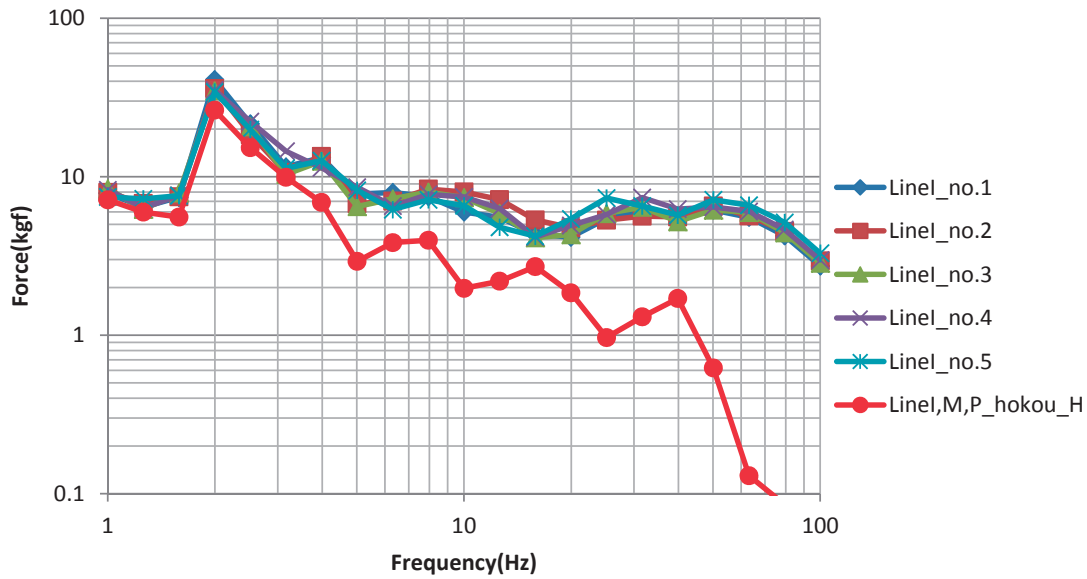


図-16 I列歩行波

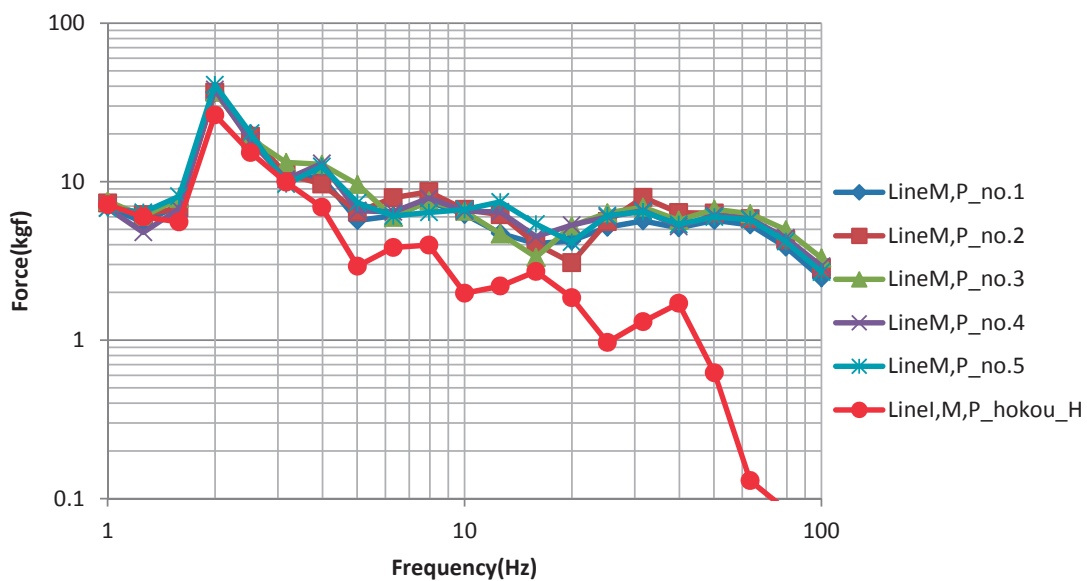


図-17 M列, P列歩行波

歩行振動解析結果

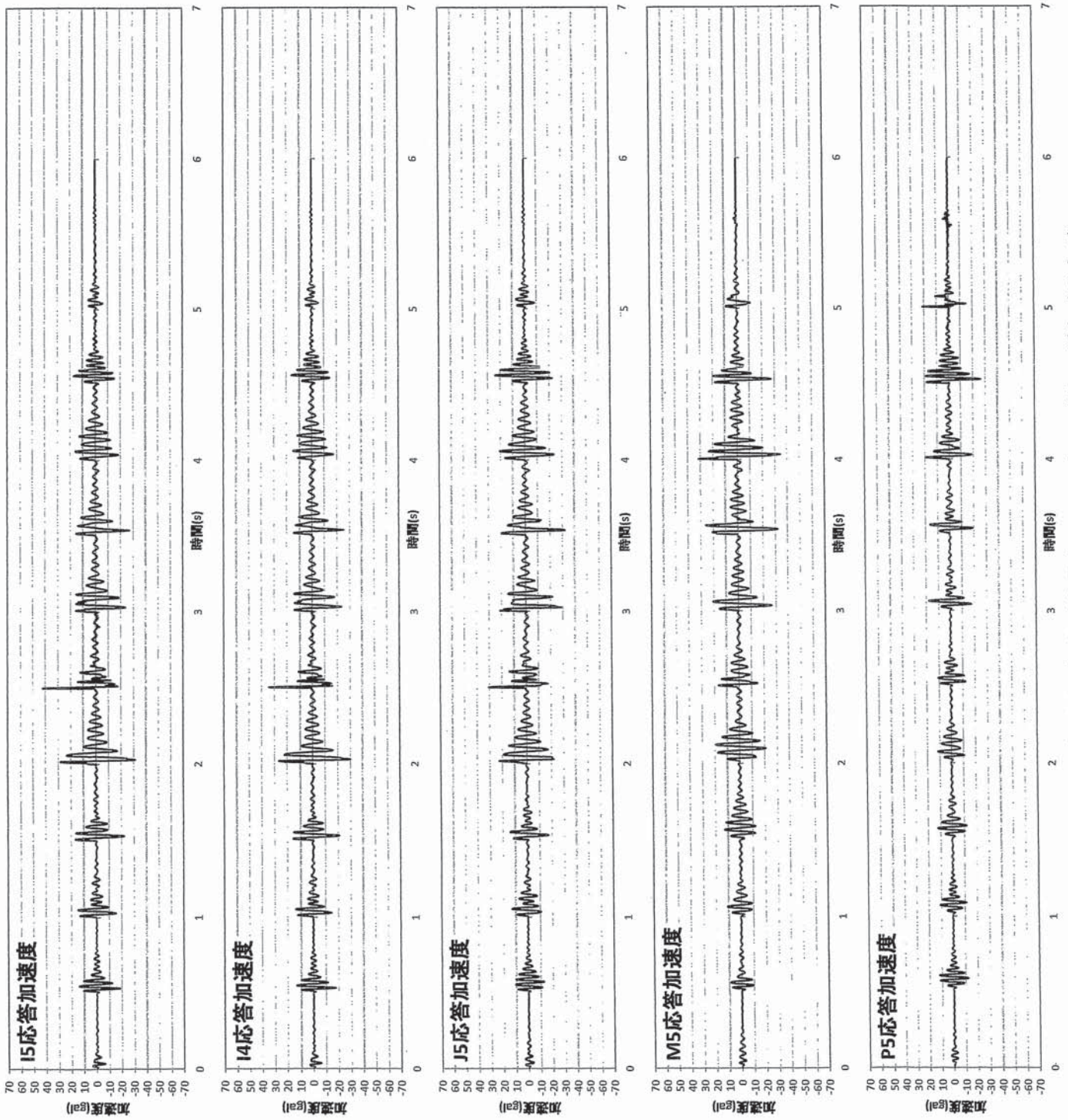


図-18 5歩行解析結果(100Hzサンプリング加振力1)

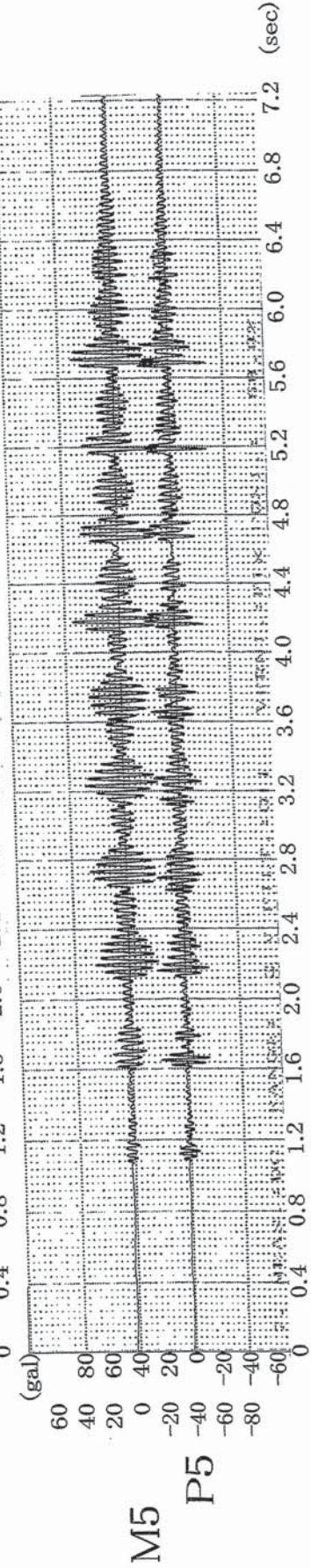
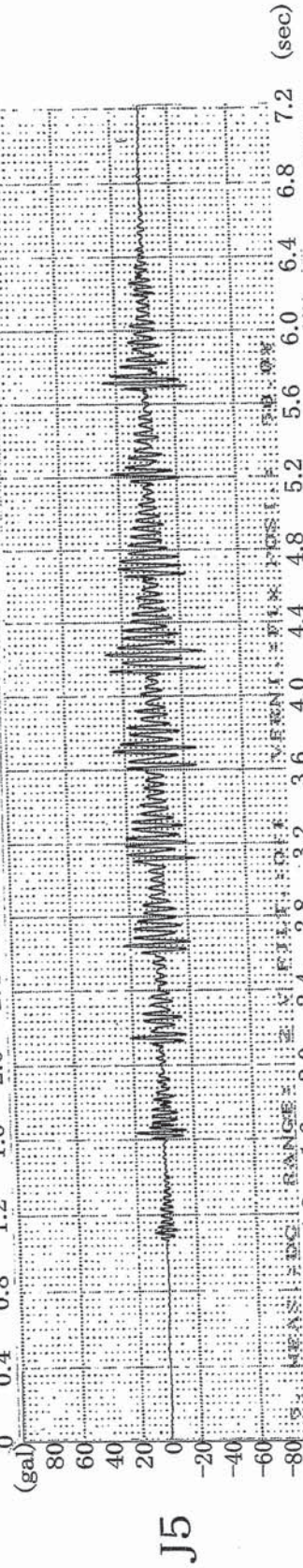
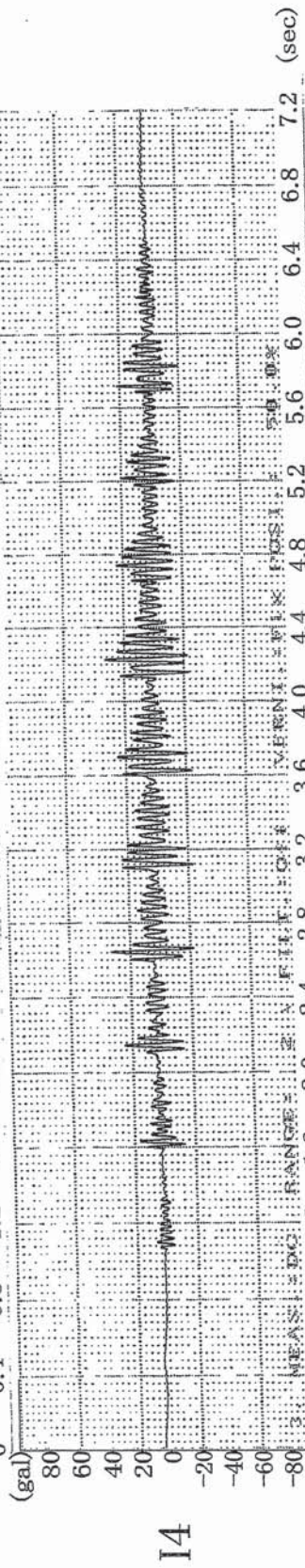
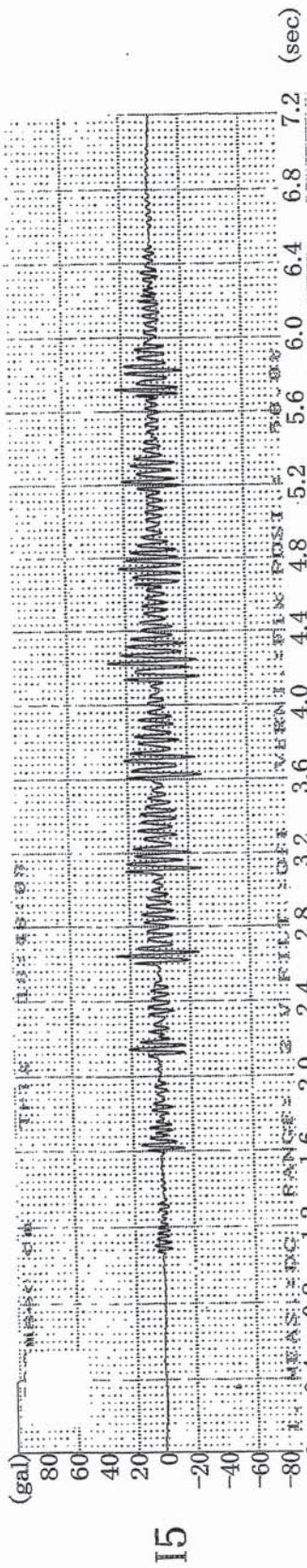


図-19 5行歩行結果

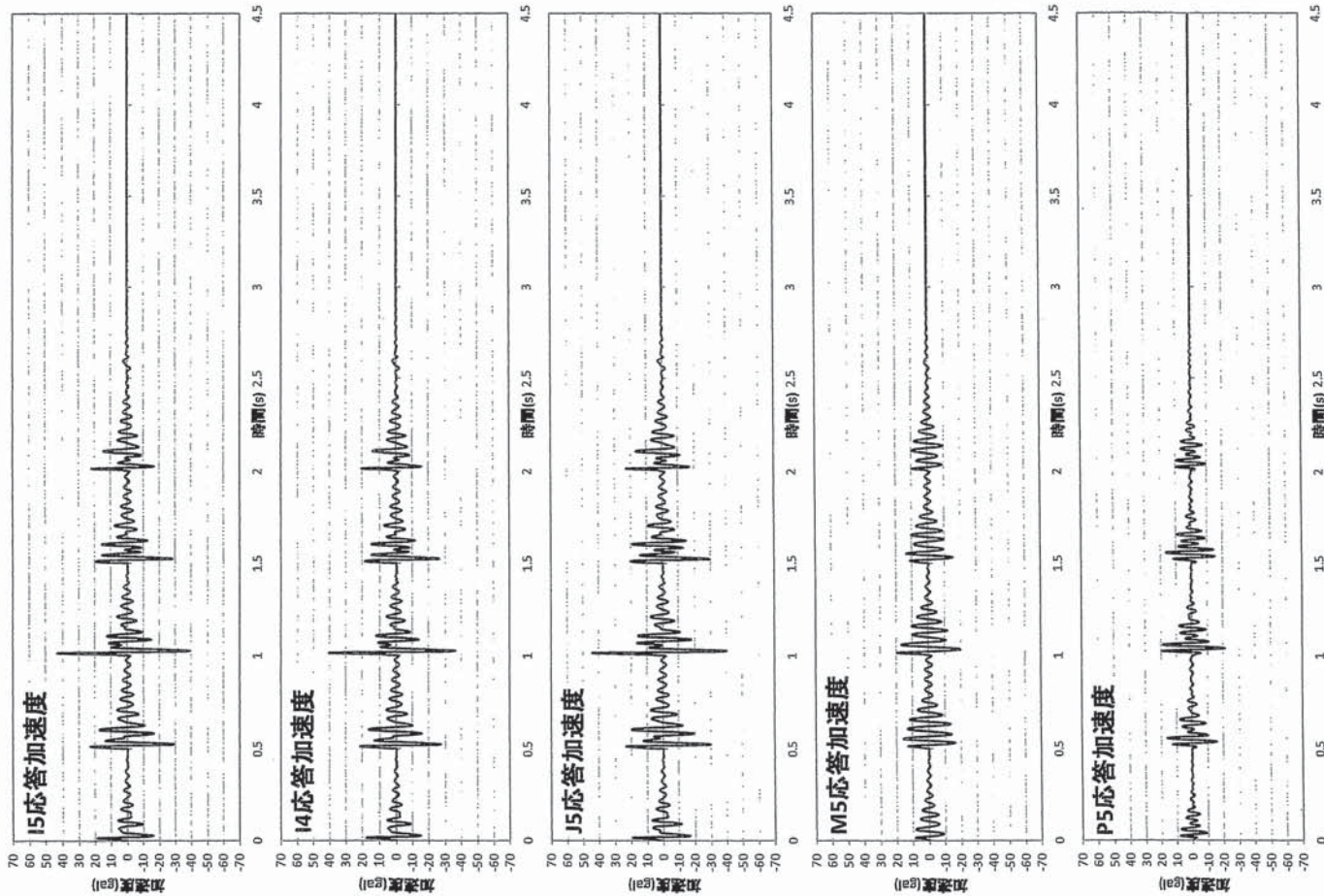


図-20 I列歩行解析結果(100Hzサンプリング加振力I)

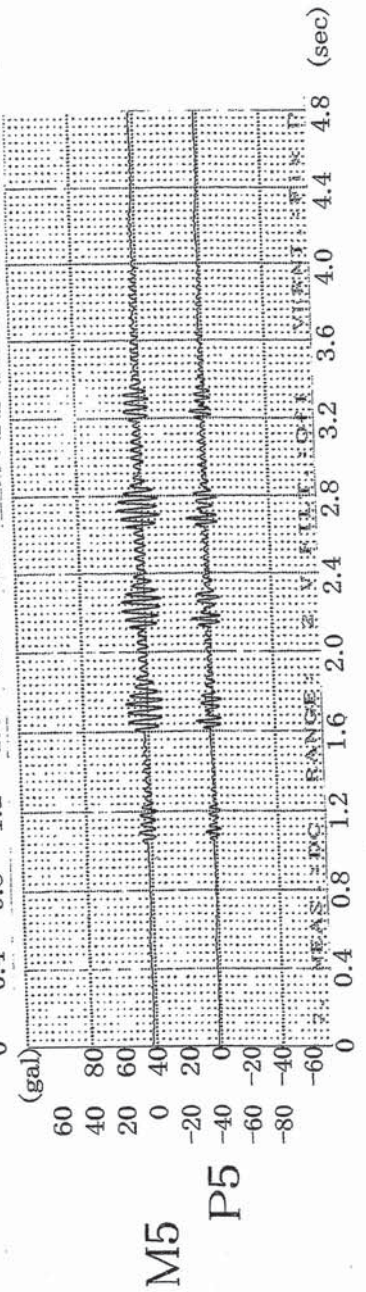
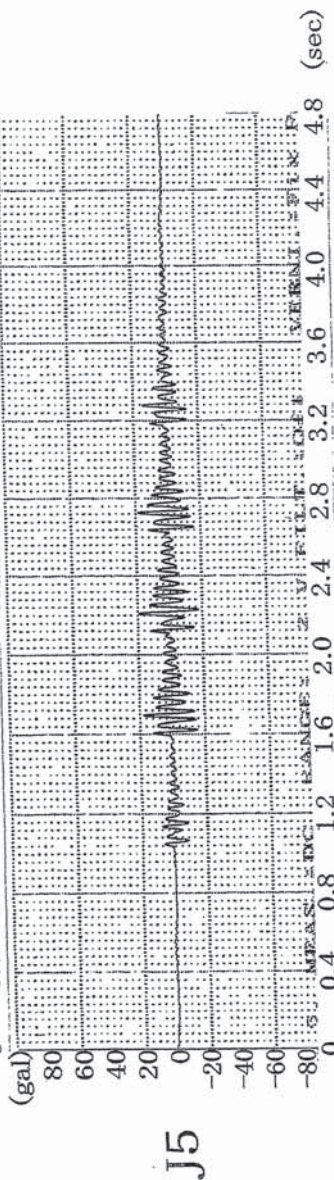
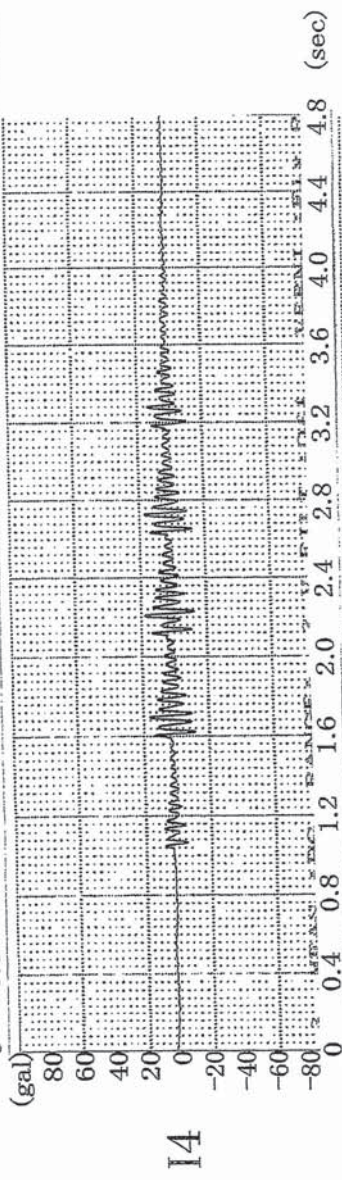
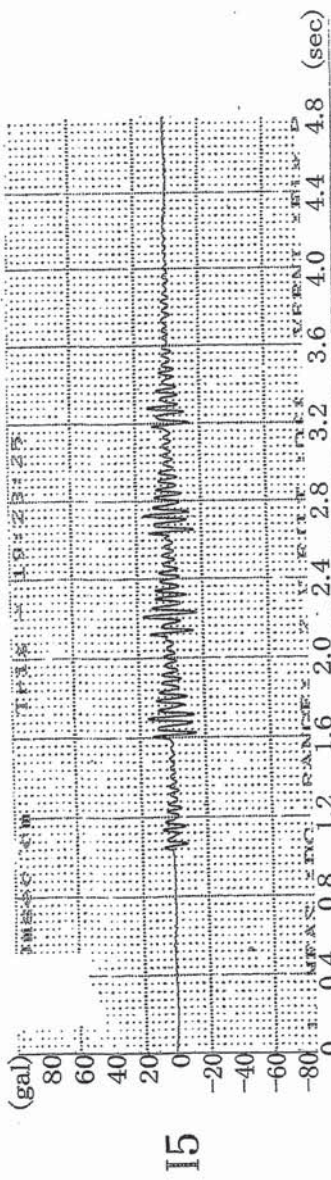


図-21 I列歩行結果

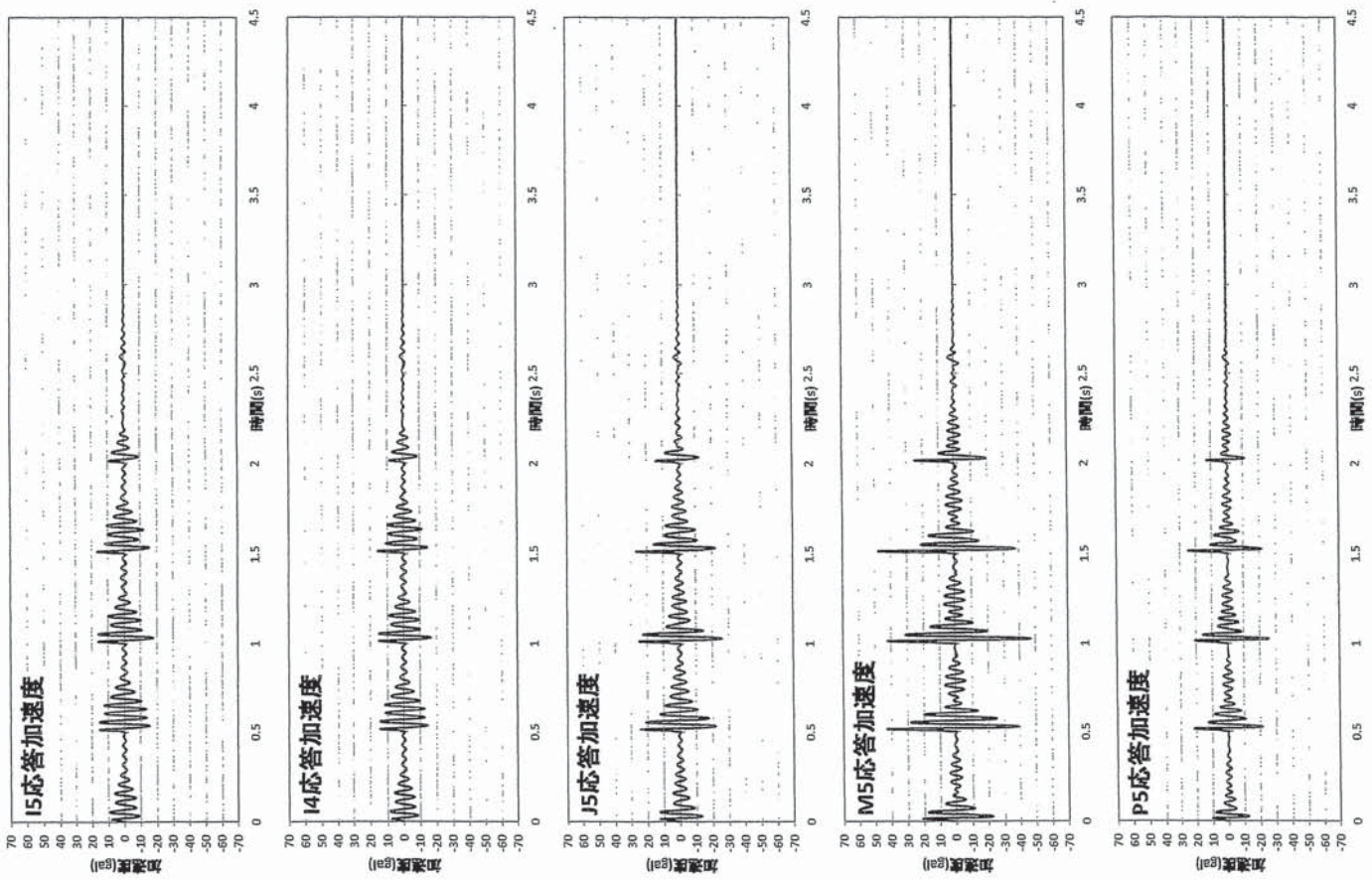


図-22 M列歩行解析結果(100Hzサンプリング加振力)

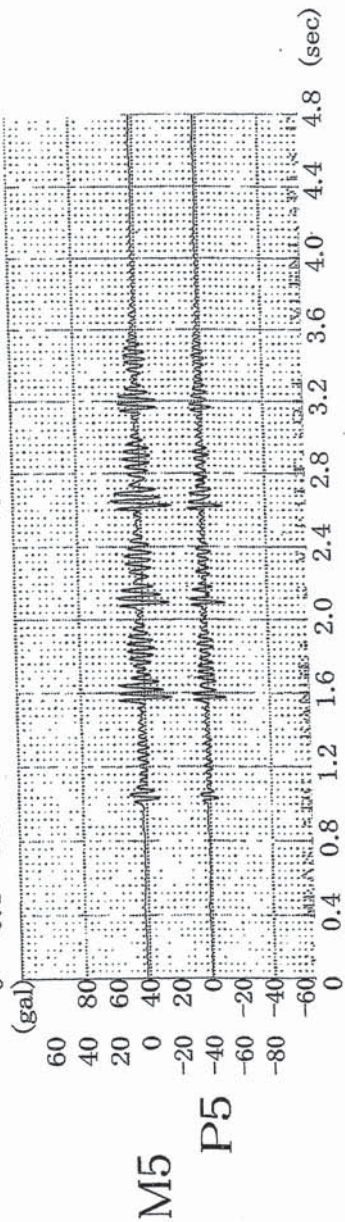
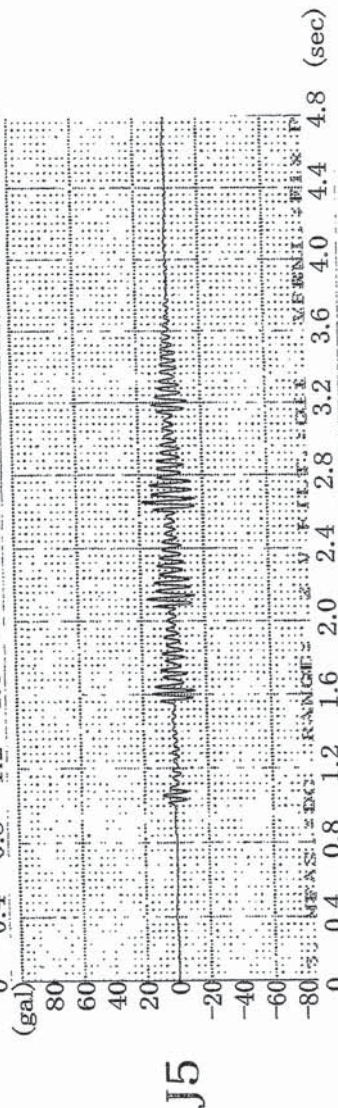
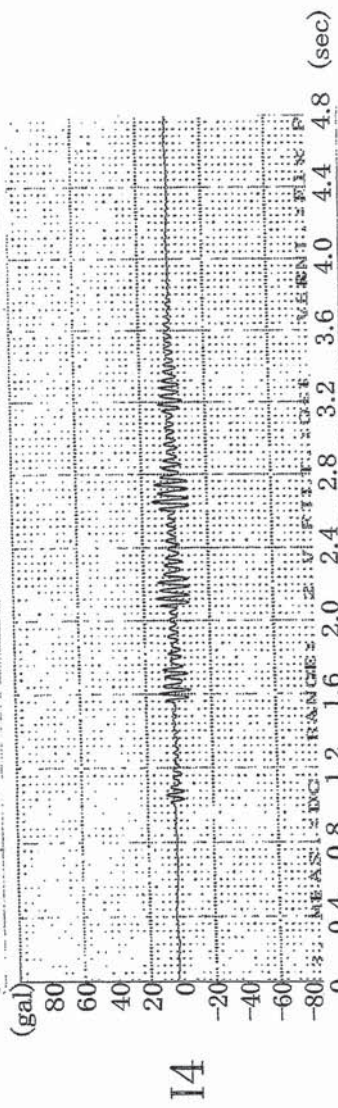
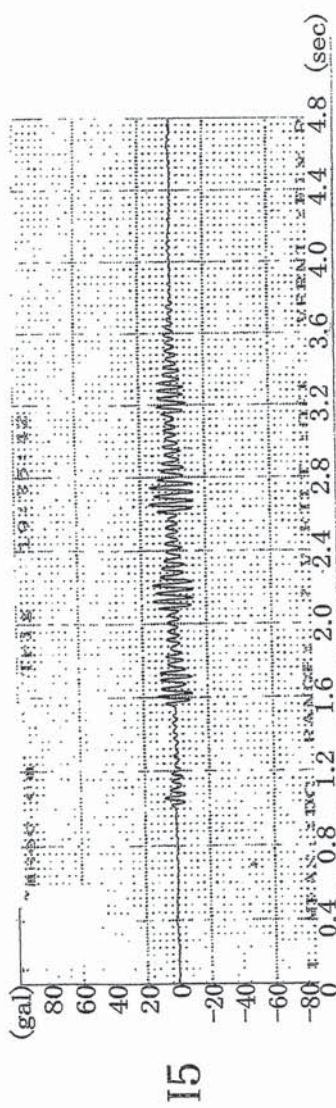


图-23 M列步行结果

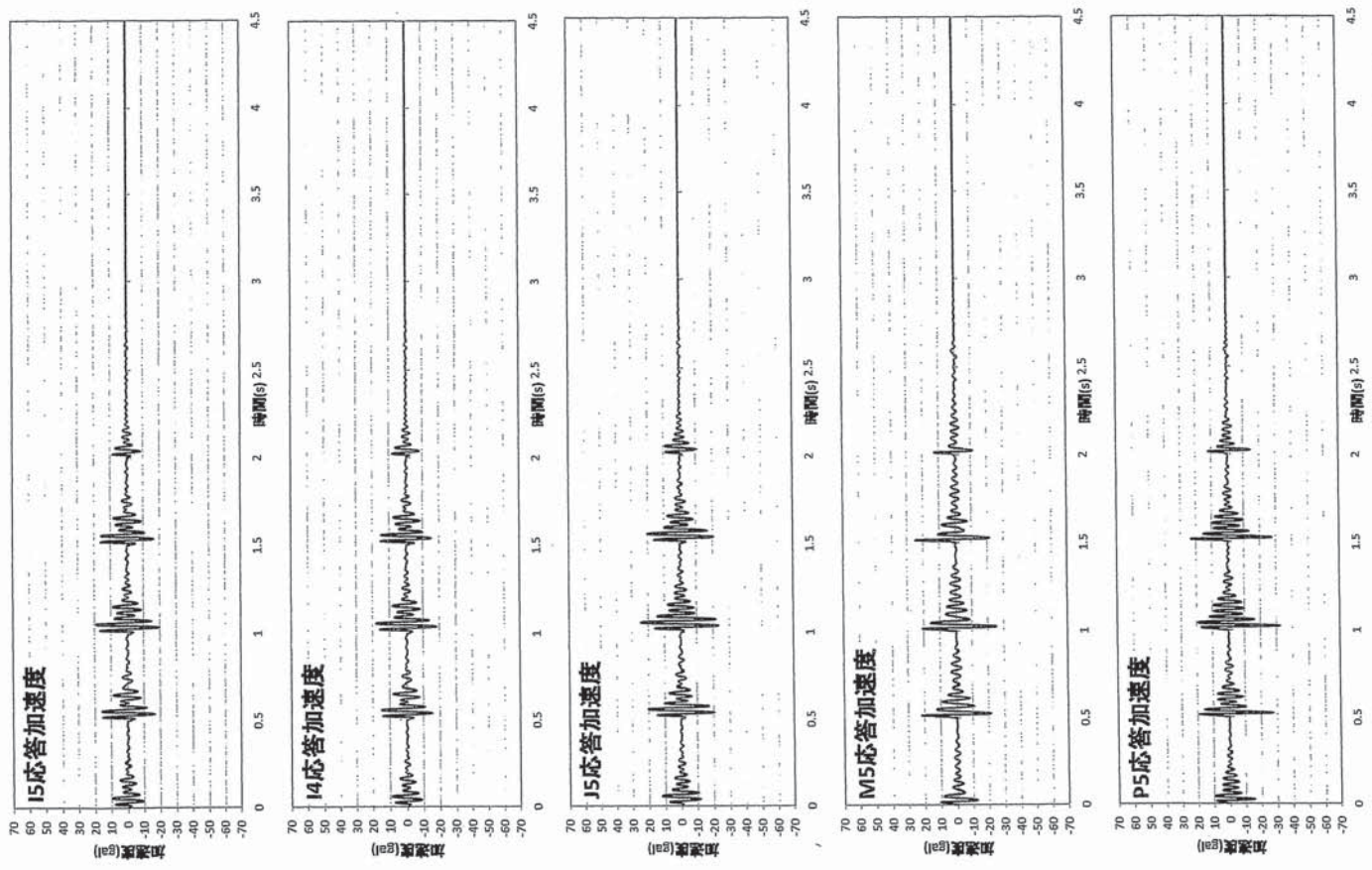


図 24 P列歩行解析結果(100Hzサンプリング加振力)

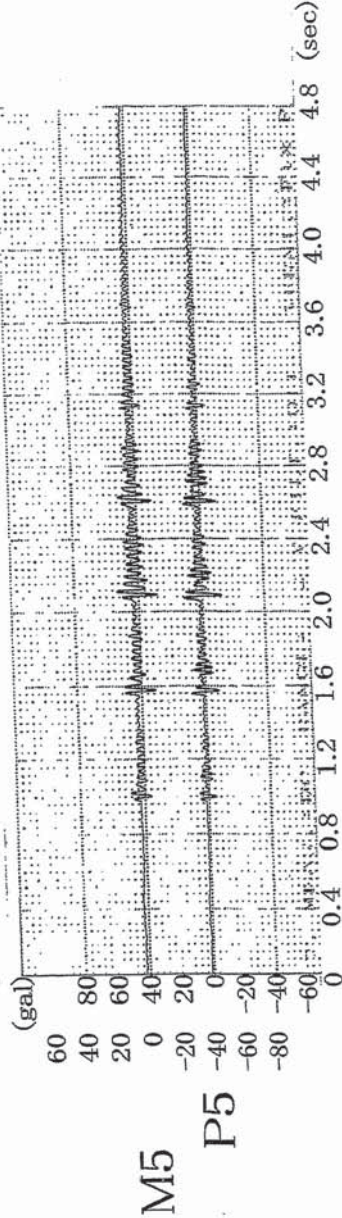
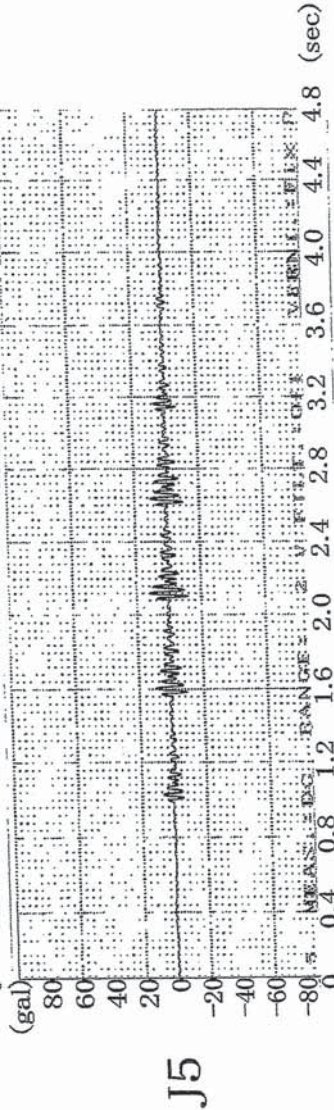
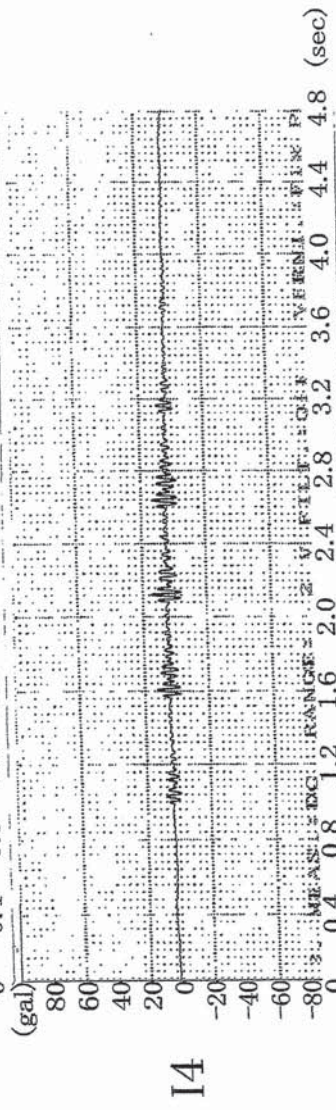
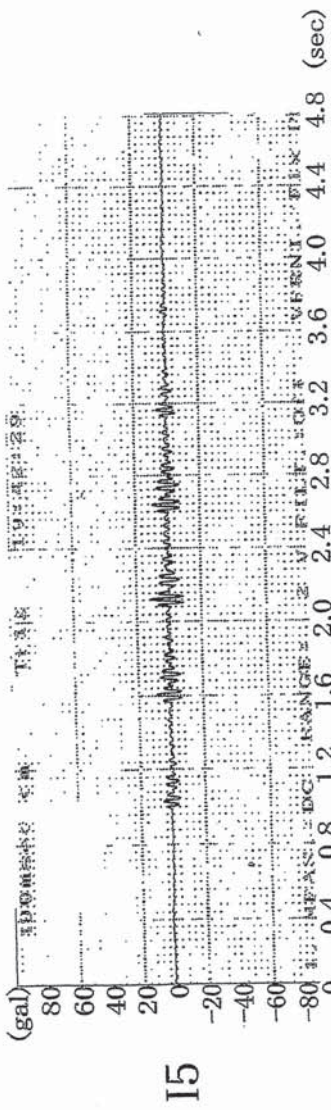


図-25 P列歩行結果

各種物理量の比較

表-4 解析結果と実測結果の物理量比較

		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	平均	実測値	解析/実測	HokouH
5行歩行	t.c.10ms	79.60	76.82	77.62	77.28	78.59	77.98	81.02	0.963	72.82
	VLT(ref60)	81.04	78.20	78.73	78.46	80.15	79.32	84.42	0.940	74.55
	VLmax	78.32	74.90	75.67	75.43	76.00	76.07	79.22	0.960	71.86
I列歩行	t.c.25ms	79.98	76.50	77.00	76.89	77.80	77.63	82.70	0.939	73.73
	VLmax	76.46	80.01	78.18	75.84	77.11	77.52	78.02	0.994	72.74
	VLT(ref60)	76.81	80.29	78.18	75.84	77.62	77.75	79.62	0.976	73.36
M列歩行	t.c.25ms	74.80	78.39	76.28	73.98	75.89	75.87	76.06	0.997	71.80
	VLT(ref60)	75.29	79.04	76.60	74.15	76.61	76.34	77.80	0.981	72.64
	VLmax	72.57	72.85	74.25	74.51	75.25	73.89	75.38	0.980	69.79
P列歩行	t.c.10ms	72.57	72.85	74.53	74.79	75.25	74.00	76.60	0.966	70.27
	VLmax	70.36	71.30	72.64	74.28	74.05	72.53	74.24	0.977	69.93
	VLT(ref60)	70.43	71.30	73.02	74.68	74.05	72.70	75.64	0.961	70.44
P列歩行	t.c.10ms	67.99	69.06	69.79	71.32	71.10	69.85	73.34	0.952	62.84
	VLT(ref60)	67.99	69.06	69.79	71.32	71.10	69.85	73.50	0.950	62.84
	VLmax	66.04	67.93	67.78	69.75	68.76	68.05	71.64	0.950	61.64
		66.04	67.93	67.78	69.75	68.76	68.05	71.98	0.945	61.64

表-5 パラメトリックスタディ結果

CLT床板 (剛性) [ton/cm ²]	スプライン 接合部	密度 [g/cm ³] (材質)	固有振動数(Hz)			100kgf 静的載荷 (mm)	5行歩行		
			1次	2次	3次		VL7(ref:60dB, T.C.:10ms)	認知大きさ尺度 気になり具合 評価尺度	
北見 セミナーハウス 測定結果	有	カラマツ	22.0	25.5	32.0	0.093	79~80 (心理学的尺度 より逆算)	②~③	③~④
			19.8	23.6	33.2	0.084	79.32	②~③	③~④
			22.0	26.3	37.0	0.084	80.04	②~③	③~④
7層7プライ (実験値) [強:72.5] [弱:25.9]	有	0.496(カラマツ)	22.4	30.9	46.4	0.078	79.00	②~③	③~④
			24.9	34.4	51.7	0.078	79.76	②~③	③~④
7層7プライ (規格値) [強:41.5] [弱:12.36]	有	0.496(カラマツ)	15.7	19.6	28.4	0.139	83.66	①~②	①~②
		0.4(スギ)	17.5	21.9	31.6	0.139	84.13	①~②	①~②
	無	0.496(カラマツ)	17.2	23.7	34.8	0.133	83.62	①~②	①~②
		0.4(スギ)	19.2	26.4	38.8	0.133	83.63	①~②	①~②

