

住宅を事例とした3次元構法教材の開発

—木造軸組構法の教材制作と自学での利用実験—

○下川 雄一*1

キーワード：建築教育、教材、CAD、構法、BIM

1. はじめに

近年、BIMが注目されている。BIMの促進においては、設計者自身が3次元オブジェクトCAD等のツール操作やデータ交換技術等に習得はもとより、設計の早期から構造や環境性能など関連の専門領域との相互作用に基づいて建築デザインの方向性を検討・検証する能力の育成が求められる。そのためには、建築の個々の専門領域を学びながらも、常に建物の全体像を捉えていく必要があり、建築教育においてはその工夫が強く求められる。これに対し、筆者は建築教育における教材資料の在り方に着目している。従来授業で用いられてきた図面や写真といった建築表現媒体に加え、3次元のデジタルツールによる新しい教材データを活用することで、建築の全体像を把握しながら個々の専門領域を学べるような教材の新しい形を模索する中で、建築構法教材の制作と活用を試験的に試みている。これは、制作する側（上級生）にとっては部材レベルから建物の構成を理解し、高度な建築モデルを制作する感覚を身に付ける機会として作用し、データを見る側（下級生）にとっては建物の物質的な成り立ちや立体的な構成を理解するための機会として作用し、そのサイクルを回すことで学生の建築自体やその構法、更にはBIMに対する理解および興味の促進を図ろうとするものである。既報告^{文1)}では、RC造とアルミ造の住宅（各1棟）を構法教材として制作し、3年生の構法系授業において利用し、アンケートを実施した結果について報告した。本報告では、新たに制作した木造軸組による住宅2棟（筋交構法、耐力面材構法を各1棟）の教材データの概要および既制作の2棟を合わせた計4棟のデータを1年生の希望者へ配布・利用してもらい、評価アンケートを実施した結果について報告する。

2. 木造住宅の事例選定について

2009年度に制作したRC造とアルミ造の構法教材データを用いて、担当教員の協力のもと構法系の授業（60分×2コマ）で教材データの試験利用を実施した。授業の最後に実施したアンケートの結果では、「木造教材もあった方が良かったか?」という問いに対して、回答者116名のうち9割以上の学生が「あった方が良い」と回答した。この結果を受け、2011年10月～2012年5月に木造住宅2棟の構法教材データ（以降、教材データと呼ぶ）制作を実施した。対象とした事例および制作期間等の概略を表1に示す。事例選定に際しての条件として、教材による知識の偏りをできる

限り避ける意味で、同じ木造軸組構法でも耐力壁に筋交いを使用した事例と耐力面材^{註1)}を使用した事例の2つを取り上げた。最初に協力会社を決定したため、規模やデザイン性、その他の条件は選定の際に考慮せず、希望する制作期間および大学から比較的通いやすい場所であることの2点を条件として協力会社と相談し、決定した。対象事例の屋根形状として、事例1は2つの片流れ屋根が2方向に組み合わせ合わせた形式、事例2は浅い片流れ屋根をパラペット壁で囲う形式である（図1、2）。一般的な切妻屋根ではないものの、勾配屋根を見せる外観と見せない外観という大きく異なる2つの屋根形式であるため、木造軸組構法でも多様なデザインが可能であることを暗に示す事例であると考えられる。

表1 教材データ制作の対象事例と制作作業概要

	事例1(A邸)	事例2(B邸)
所在地	石川県金沢市	石川県金沢市
敷地面積	215㎡	289㎡
延床面積	120㎡	222㎡
階数	地上2階建	地上2階建
構法	木造軸組工法(耐力壁・耐力面材)	木造軸組工法(耐力壁・筋交い)
設計・施工	株式会社家元	株式会社家元
施工期間	2011年9月～2012年2月	2011年10月～2012年4月
データ制作期間	2011年10月～2012年2月	2011年11月～2012年5月
データ制作者	下川研究室4年生3名	下川研究室4年生10名
現場調査回数	17回	15回



図1 事例1の外観



図2 事例2の外観

3. 教材データ制作の概要

3-1. 参考情報

教材データの制作に使用した情報を以下に示す。

- ① 設計図（配置図、1階・2階平面図、立面図、断面図、屋根伏図、天井伏図、短計図、基礎伏図、面積表、他）および工程表（協力会社からの提供）
- ② 現場写真（現場調査時に学生自身が撮影）
- ③ 野帳（現場調査時の実測図、および現場担当者へのヒアリング内容等を学生自身が記録したもの）

3-2. 教材データ制作環境

教材データ制作には SketchUp を使用した。当初、木造専用の高機能 CAD ソフトを試験的に利用したが、3次元の軸組モデルの表現精度において教材活用上の限界を感じた。多様な部材表現に柔軟に対応すること、更には CAD を全く触ったことのない学生でも即時的に導入・習得可能な環境であることを優先し、上記ソフトを選定した。

3-3. 教材データ制作の流れ

データ制作は以下の①～④を繰り返す形で進められ(②～④は大学での作業、現場調査回数は表1参照)、最後の段階で⑤～⑦が実施された。

- ① 現場調査(写真撮影、図面照合、実測と現場担当者へのヒアリングによる野帳作成)
- ② ①の情報を参考に部材単位でモデリング
- ③ 部材種別毎のレイヤー整理やマテリアルの調整
- ④ モデリング精度のチェックやその他打ち合わせ
- ⑤ アニメーションのシーン作成
- ⑥ 紙面ポートフォリオの作成
- ⑦ 完成した教材データの協力会社へのプレゼン



図3 現場調査風景



図4 協力会社へのプレゼン風景

4. 教材データの概要

4-1. 教材データの精度

制作した2事例の教材データの木造軸組みを図5、6に示す。教材データの作成方針としては構法という視点を軸に据えているため、木造軸組部分についてはディテールまでできる限り表現することを促した(図7)。一方、意匠の視点から構法の仕組みを読み解いていくなど多視点的に観察することを想定し、且つ制作者に最後まで現場を見てもらい建築全体を理解してもらう意図もあり、内外装の仕上げ、開口部、建具、家具等についてもできる限り制作することを促した(図8)。

指導を担当した筆者の立場から主観的ではあるが評価すると、事例1は8割、事例2は9割程度の完成度であった。人為的な作業量の限界や完成状態までのビジョンの共有不足などから、両事例で表現にバラつきが生じており、表現がおかしい部分も散見される状態であった。未完成あるいはミスを生じている残り1割については今後修正の余地はあるものの、現時点で各教材データは表2に示す状況となっている。

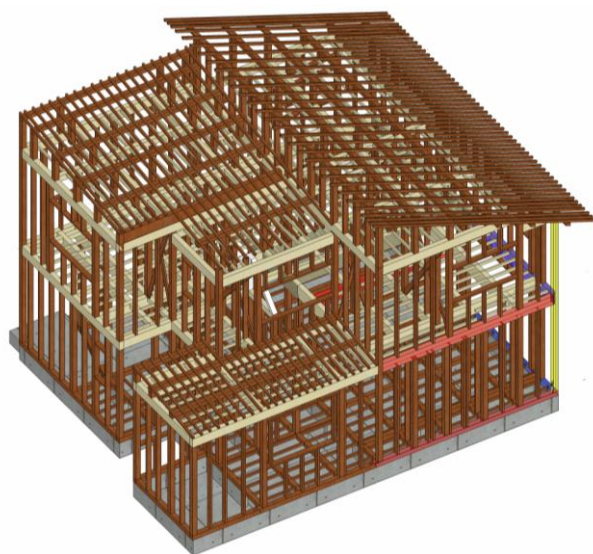


図5 事例1の教材データ内の木造軸組モデル

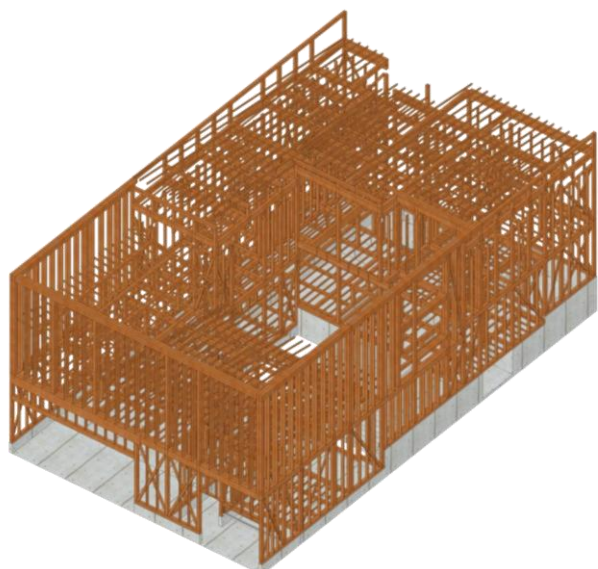


図6 事例2の教材データにおける木造軸組モデル

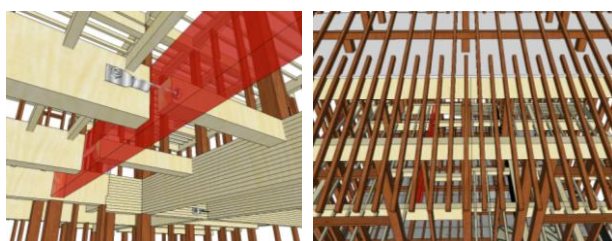


図7 事例1の梁接合部(左)と間垂木(右)のモデル表現



図8 事例2のリビング内装(左)と中庭(右)のモデル

表2 各教材データのモデルの有無と精度

		事例1(A邸)		事例2(B邸)		
		モデルの有無	精度	モデルの有無	精度	
基礎	コンクリート	有	◎	有	◎	
	鉄筋等金物	無	—	無	—	
木造軸組	床	土台	有	◎	有	◎
		梁・胴差し	有	◎	有(一部無し)	○
		大引き・根太	有(一部無し)	○	有	◎
		通し柱	有	◎	有	◎
	壁	管柱	有	◎	有	◎
		間柱	有	◎	有	◎
		耐力壁材	有(耐力面材)	◎	有(筋交い)	○
	屋根	窓台・まぐさ	有	◎	有	◎
		束	有	◎	有(一部無し)	○
		母屋	有	◎	有	◎
細部	垂木	有	◎	有	◎	
	接合部仕口	有(1Fのみ)	○	無	—	
	接合部金物	有(サンプル)	○	無	—	
断熱材	断熱材	無	—	有	△	
外装	壁	防湿シート	有(一部無し)	◎	有	◎
		下地材	有(一部無し)	○	有	◎
		外装材	有(一部無し)	△	有	○
	屋根	野地板	有	◎	有(一部無し)	○
		防水シート	有	◎	有	◎
		葺き材	有	◎	有	◎
内装	天井	天井下地材	無	—	無	—
		天井板	有	○	有	◎
		天井仕上材	無	—	有	○
	壁	下地材	有	◎	有	○
		下地板	有	○	有	◎
		仕上材	有(LDのみ)	○	有(一部無し)	○
	床	床材	有	◎	有	◎
		床仕上材	有	○	有	◎
	階段	階段	有	○	有(一部無し)	○
	建具	室外向け	窓枠	有(一部無し)	△	有
窓サッシ			有(一部無し)	△	有	◎
ドア枠			無	—	有	○
室内		ドア	無	—	有	○
		ドア枠	無	—	無	—
	ドア	無	—	有	○	
その他	家具	有(LDのみ)	○	有	◎	

4-2. 教材データの機能性

教材データは使用したCADソフトの特性も生かし、下記のようなモデル観察のための方法が用意されている。

- ① モデルの観察
 - (ア) アニメーションの再生
 - (イ) アニメーションの各シーンの任意選択
 - (ウ) 自由なビューイング
- ② 建物の構成要素の名称を確認する
 - (ア) シーンに付けられている名称を見る
 - (イ) 部材モデルのレイヤー名を見る
- ③ 2点指示で建物各部の寸法を測る
- ④ 任意の部材モデルの非表示・表示の切り替え
- ⑤ 建物の切断表示

5. 教材データの利用実験

5-1. 実験概要

1年次前学期「建築学概論Ⅰ」の最後の週に履修者へ教材データを紹介し、夏季休暇中の利用を希望した学生8名へのデータ提供を行い、適宜閲覧してもらった後、評価アンケートを実施した。「建築学概論Ⅰ」は建築学の入門的授業であり、建築の計画・意匠系教員3名、構造系教員2名により、国内外の優れた建築作品や環境デザインの実例解説、RC造・S造・木造の構法の基礎や作品例、および構造形式や施工の基礎等をオムニバスに解説している。

提供したデータは今回制作した木造2棟分、既制作のRC造・アルミ造各1棟の計4棟である。データ提供からアンケート回収までの期間は2012年9月中の約3週間である。

5-2. 実験結果

今回の利用希望者8名は全て1年生であったが、問題なくソフト導入・操作習得・閲覧まで独力で対応でき、全員からアンケート(表3)の回答を得ることができた。

(1) 操作修得について

学生とのやりとりについては、導入ガイダンスや専用の操作マニュアル(A4×5頁)を作成し、教材データと合わせてネットワークで提供する形のみで対応した。表3には回答結果を掲載していないが、Q8の操作マニュアルの不都合等に関する質問では全員が問題ないと回答し、利用期間中の質問も特になかった。

(2) 教材データの見応えについて

Q1の回答では、提供した教材4データ(データ①:アルミ造、データ②:RC造、データ③:木造(事例1)、データ④:木造(事例2))のうち最も見応えがあるものとして、8名のうち5名が木造2棟のいずれかを選んだ。そのうち3名は事例1を選び、その理由として、「木造に興味を持っていた」、「細部が分かり易かった」、「各部分が色を変えて表されており、名称も覚えられ、見やすく作られている」等を挙げていた。学生の興味と教材データ制作上の工夫がある程度マッチングした状況が読み取れた。

(3) 各教材データの参考になった点

Q2の回答では、全ての教材データにおいて過半数の学生が1を回答し、構造の仕組みを観察できる点でメリットを感じていた。2と3の回答も比較的多く、デザイン面での活用にも意義を感じており、また5の回答も比較的多いことから、建物各部の名称を覚えるのにも有効に作用していることが伺える。また、データ④の2の回答が多い理由として、内装のモデル表現の精度が高いことが考えられる。更に、データ③の5の回答が多い理由として、部材の名称付けやアニメーションにおける細部の見せ方が充実していたことが影響したと考えられる。

(4) 各教材データの完成度について

Q3の回答では、ほとんどの学生がデータの完成度について問題ないと認識している一方、1名だけ全てのデータについて「細かすぎて分からない」と回答した学生がいた。

表3 教材データ利用者へのアンケート設問内容と回答

以下のアンケート回答では、今回提供した4つの教材データの番号をそれぞれ①アルミ造、②RC造、③木造(事例1)、④木造(事例2)とする。							
Q1. どのデータが一番応えがありましたか？その理由も教えてください。							
回答結果: データ①1名 データ②1名 データ③3名 データ④2名 (1名が「②以外全て」と回答したため、回答無効とした)							
Q2. 4つの教材データのそれぞれどのような点が参考になりましたか？教材データ毎に1～7で回答してください。(データ毎に複数回答可)							
1. 建物の構造の仕組みを観察できたこと 2. 建物のデザインを立体的に観察できたこと 3. 構造とデザインの両面で、建物の立体的な構成を観察できたこと 4. 建物各部の寸法を細かく知ることができたこと 5. 建物各部の名称を知ることができたこと 6. 思ったほど参考にならなかった 7. その他()							
回答結果:							
	1	2	3	4	5	6	7
データ①	7	2	2	1	2	0	0
データ②	5	3	3	1	2	0	0
データ③	5	2	3	1	5	0	0
データ④	5	5	2	1	3	0	0
Q3. 教材データの完成度について、住宅データ毎に評価をお願いします。教材データ毎に1～5で回答してください。(データ毎に2つまで選択可)							
1. 問題ないと思う 2. 入力不足を感じた部分がある 3. もっと細部(接合部など)まできちんと表現されたものを作って欲しい 4. 設備系のデータもできるだけ表現して欲しい 5. その他()							
回答結果:							
	1	2	3	4	5		
データ①	7	0	0	0	1		
データ②	5	1	0	0	2		
データ③	7	0	0	0	1		
データ④	6	0	1	0	1		
Q4. 教材データを閲覧する上で、有効だったと思う機能性を教えてください。(3つまで選択可)。(選択肢に示す機能についてはマニュアルを作成・配布した)							
1. アニメーションの再生による建物の観察 2. アニメーションの各シーンの任意選択による建物の観察 3. 自由なビューイングによる建物の観察 4. 構成要素の名称確認 5. 建物各部の寸法測定 6. 選択した部材の非表示・表示の切り替え 7. 切断表示した状態での建物の観察							
回答結果: 1・3×各5名、2・7×各3名、4・5×各1名							
Q5. 来年度、この教材データを活用して建築構法の授業(90分×1コマ)を組み込むことについてどう思いますか？(2つまで選択可)							
1. 時間配分は関係なく、授業上、意味があるならあってもいい 7. その他() 2. 4つ全てではなく、1～2つのデータに限定してやった方がいい 3. 1コマをまるまる使う程でもない、短い時間で構わない 4. 住宅ではなく、もっと規模の大きい建物のデータでやって欲しい 5. 有名な建物を題材にしたデータがあればやって欲しい 6. 広く浅く建築のことを知りたいので、住宅構法の説明はそれ程必要ない							
回答結果: 1×6名、2・4×各3名、5・7×各1名 7の自由回答(もっと簡単なものがいい)。(複雑すぎて)何が何やら分からない)							
Q6. 来年度も今回のように教材データの配布を続けるか否かについて、どのように思いますか？(1つだけ選択)							
1. 特に配布しなくてもいいと思う 2. 授業中にそのデータを使って構法の説明があるなら、配布しなくていい 3. 自分で操作することに意義があるので、希望者には配った方がいい 4. 全員にデータを配布して、課題として閲覧させてもいいと思う 5. その他()							
回答結果: 3×6名、1・5×1名 5の自由回答(講義でも使用し、その振り返りとして希望者に配布した方がいい)							
Q7. 今後、別の教材データを作るとしたら、どんな建物のデータを作って(提供して)欲しいですか？(2つまで選択可)							
1. 鉄骨造の建物のデータを作って欲しい 2. 住宅ではなく、もっと大きな建物のデータを作って欲しい 3. もっと著名な建築家の作品を作って欲しい(例:) 4. もっと身近な(金沢近郊の)建物のデータを作って欲しい(例:) 5. その他()							
回答結果: 2・5×各3名、4×2名、1×1名							
Q8. SketchUpの操作マニュアルについては何か不都合はありませんでしたか？2か3の場合、その内容を()内に記入してください。							
1. 問題なかった 2. 多少問題があった() 3. 不都合が多かった()							
Q9. 教材データや閲覧ソフトについて、「こんなデータがあったら」、「こんな事ができたら」という意見があれば、自由にお書きください。							

細部までの確にモデリングしてあっても、その見せ方次第では利用者に混乱を来す可能性が高いことも考えられる。

(5) 教材データの機能性について

Q4の回答から、アニメーションで建物を観察できる点にメリットを感じる一方で、自由に建物を観察することにも意義を感じていることが分かる。その他、建物の切断機能も比較的有効であるという結果であった。一方、4の建物各部の名称が分かるという点についてはQ2の回答では比較的效果が高いと思われたが、全体的には3次元の可視化されたモデルの観察作業に価値を感じる学生が多かった。

(6) 今後の教材データ活用方法について

Q5の回答から、授業の内容と関連性が高いことを前提として、提供した教材データの価値を高く感じていることが読み取れる。また、Q6の回答から、授業で提示するだけでなく、今回のように教材データを配布することに意義を感じる学生が多かった。また、自由回答にあるように、「授業でも活用した上で、希望者に配布する方がよい」という回答もあった。

(7) 今後の教材データの制作について

Q9の回答の一部として、「もっと大きな建物や有名建築を制作して欲しい」、「一般的で基本的な構成が理解し易いものがよい」、「各部分の名称に加え、簡単な特徴や役割が表示されるとよい」等の建設的な意見が得られた。

6. まとめ

新たに制作した木造軸組2棟を含めた構法教材データ4棟分を試験的に配布・利用してもらった結果、1年生でも無理なく操作・閲覧できることが分かった。木造2棟についてはアルミ造やRC造に比べて部材数が多く、構成も複雑なため完成度も十分とは言えず、配布前には不安もあったが、今回の試験利用の範囲では予想に反して大きな問題は確認されなかった。今後、今回得られた回答や意見を踏まえ、授業や課外でより積極的な活用を進めていきたい。

謝辞

株式会社家元の皆様には、研究協力を快く御協力頂き、度重なる現場訪問において学生への丁寧なご対応を頂きましたこと厚く御礼申し上げます。また、本報で紹介した木造住宅2棟の構法教材データは佐藤祐治氏、小林雅直氏、日高将志氏(以上、平成23年度卒業生)、佐藤航君、新發田諒君、多田和万君、橋立翔太君、南野佳太君、村井沙友里君、藪内裕弥君(以上、現4年生)によって制作されたものであり、その継続的な努力に敬意を表します。

注

注1) 大建工業株式会社の無機質エンジニアリングパネル“ダイライト”が使用されている。

【参考文献】

1) 金井佑樹、小野瀬尚利、下川雄一; 3次元CADによる構法教材の開発と試験運用による評価—アルミ造とRC造の住宅を事例として—、日本建築学会第33回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、pp.111-114、2010

* 1 金沢工業大学環境・建築学部建築学科、准教授、博士(工学)