

### 巻末資料 3 AR 教材の開発環境ほか



## 1. 開発した AR 教材の概要

隅木と桁上木と桁下木の 3 部材の AR 教材を制作した(付図 3.1)。制作にあたって、教材の内容は木造建築技術教科書、建築[ I ]-建築施工・工作法・規く術編、そして墨付けを行っている作業者の視線動画を参考にした。また、対応させる端末は iOS 端末、Android OS 端末を対象とした。

従来の実習では、受講者は指導者の説明に従って展開図を描いた後に、その展開図を見ながら隅木と桁の墨付け作業を行う。この場合、墨線の意味を良く理解しないまま、単に展開図の線を部材に写し取ってしまい、隅木の勾配が変わる、部材寸法が変わるなど、条件が変わると墨付け作業が行えない事態が生じる。このような事態を改善するために、墨付けの手順と墨線の意味が理解できる AR 教材を開発することとした。AR 教材は文章、2 次元図、3 次元モデルを統合した複合教材であり、スマートフォンやタブレットなどの携帯端末のみで利用できることが特徴である。

付図 3.2 に AR 教材の使用画面を示す。AR 教材は、部材ごとに墨付け手順を表示する。墨付け手順は、部材をかたどるようなフレーム状のモデルとさしがねのモデルで示し、寸法や勾配の情報を提示した。使用者は、携帯端末に表示された 3 次元モデルを実際の部材と重ねるよう調整し、さらに墨付けの手順の提示とともに表示されるさしがねの 3 次元モデルを実際のさしがねに重ね合わせて墨付け作業を行う。この一連の操作によって使用者が墨付け作業を行いながら墨線の意味を理解できるようにした。

また、既往研究のヒアリング調査で寄せられた付表 3.1 の指摘に対して、従来の AR 教材を改善することとした。操作性に関しては、一つ前のシーンへ戻る機能、タップによる 2 次元図の拡大機能、スライダーによる 3 次元モデルの回転機能の実装を行った。内容に関しては、上端の口脇墨のモデルの追加、加工後の木材の 3 次元モデルの追加、落ち掛かり勾配の 2 次元図の 3 次元モデル図への変更を行った(付図 3.3)。

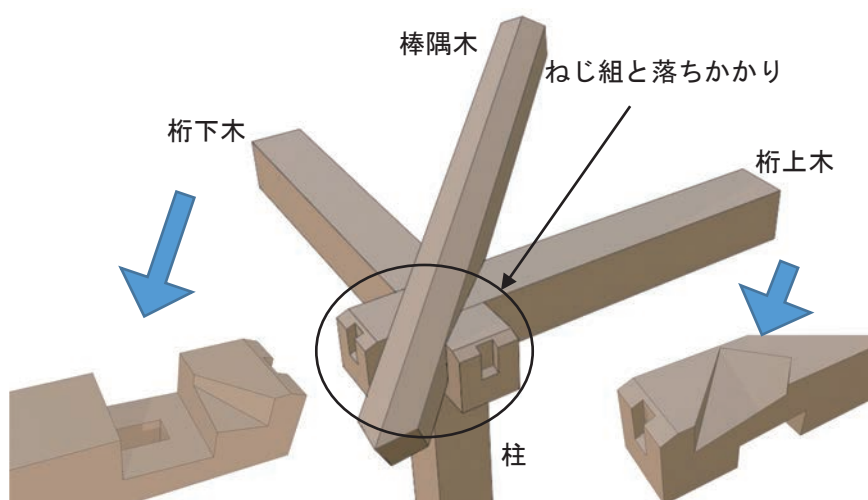
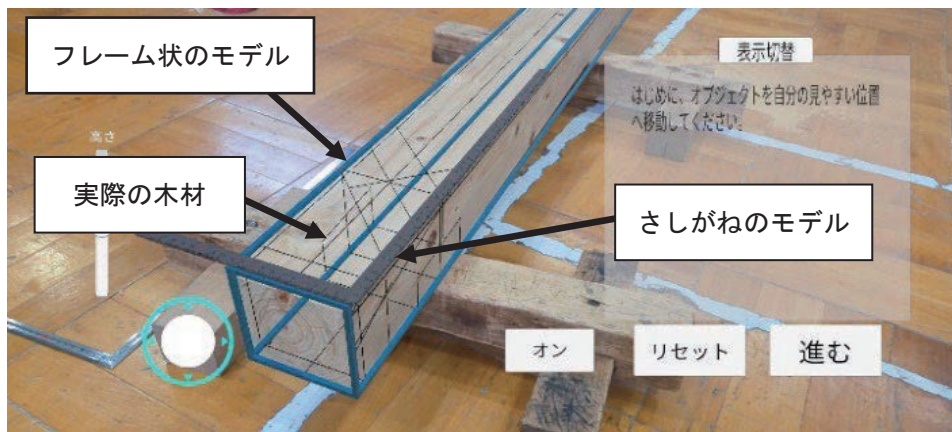


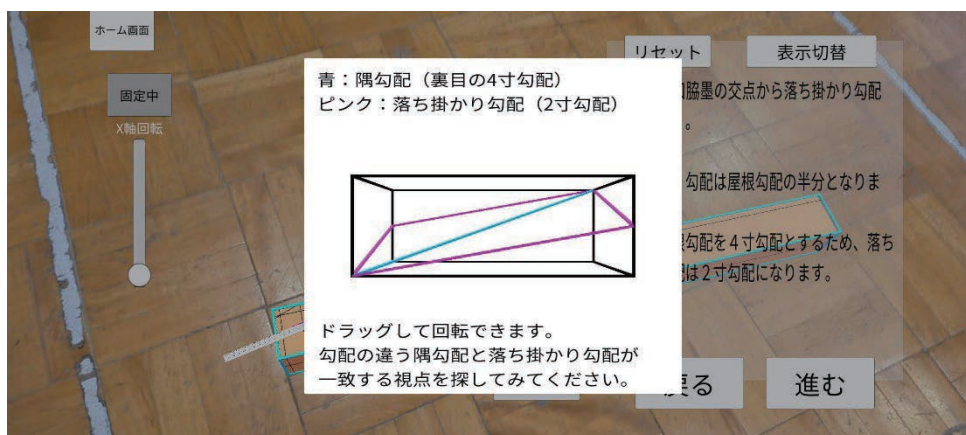
図 3.1 AR 教材の開発対象となる部材と部位



付図 3.2 AR 教材の使用画面

付表 3.1 実務者に対するヒアリング調査結果（一部抜粋）

操作性に関する意見	内容に関する意見
戻るボタンの実装をしてほしい 表示している図を拡大して見たい コメントの表示をテロップや音声で流してほしい 3次元モデルの回転はできないか	上端の口脇墨が足りない 加工後のモデルが欲しい 加工イメージ（木材の中）ができるような教材が欲しい 図を3次元モデルや写真にしてはどうか



付図 3.3 落ち掛かり勾配の3次元図

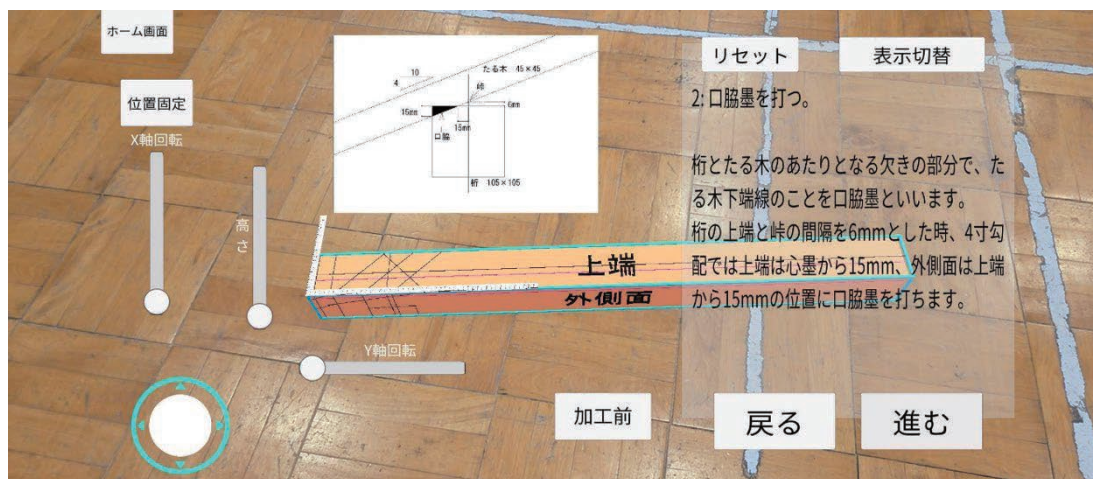
## 2. AR 教材の画面構成について

付図 3.4 に、開発した AR 教材の画面構成を示す。3次元モデルの移動は画面左下のスティックボタンにて行う。スティックボタンを操作すると、3次元モデルが XZ 平面方向に移動する。Y 方向への移動は「高さ」のスライダーを上下させることで移動させる。また、「X 軸回転」、「Y 軸回転」のスライダーを操作することで、それぞれ X 軸（材軸）方向、Y 軸（高さ）方向を軸に回転させることができる。

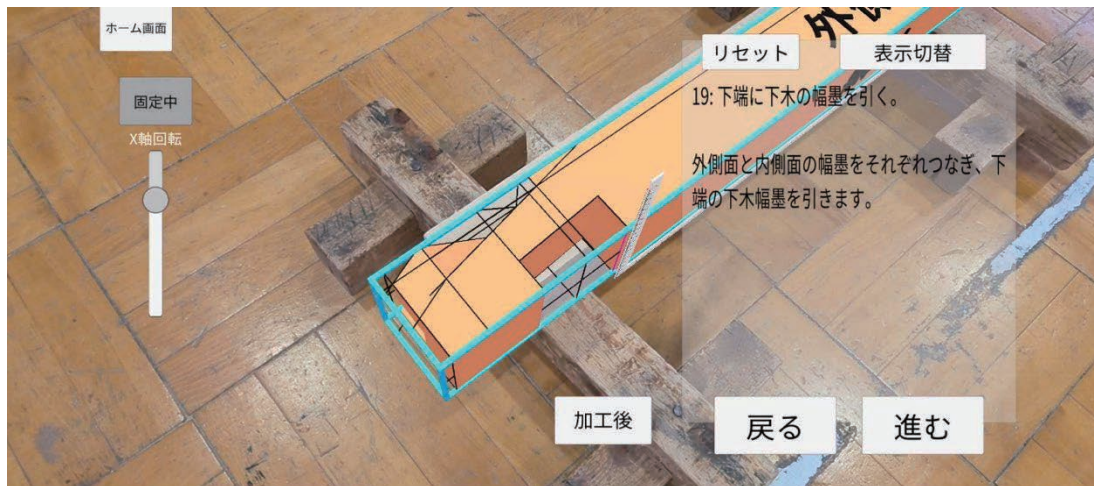
スライダーの上の「位置固定」のボタンを押すと、「高さ」、「X 軸回転」のスライダーとスティックボタンを非表示にすることができる。X 軸回転については、教材の途中での利用も考えられるため、非表示にしないこととした。画面中央下の「加工前」のボタンを押すと、加工後のモデルが表示され、ボタンの表示が「加工後」になる（付図 3.5）。再度「加工後」を押すと、木材の 3次元モデルが非表示になり、青いフレームと墨線の 3次元モデルのみが表示され、ボタンの表示が「非表示」になる。

画面右下の「進む」を押すと、教材が次のシーンへ進み、3次元モデルは回転や移動を行う。「戻る」のボタンを押すと、教材が一つ前のシーンへと戻り画面上部の「リセット」を押すと教材が初めのシーンへ戻る。画面右上の「表示切替」を押すと、説明文が表示されているパネルと、画面中央に表示されている図が非表示となる。

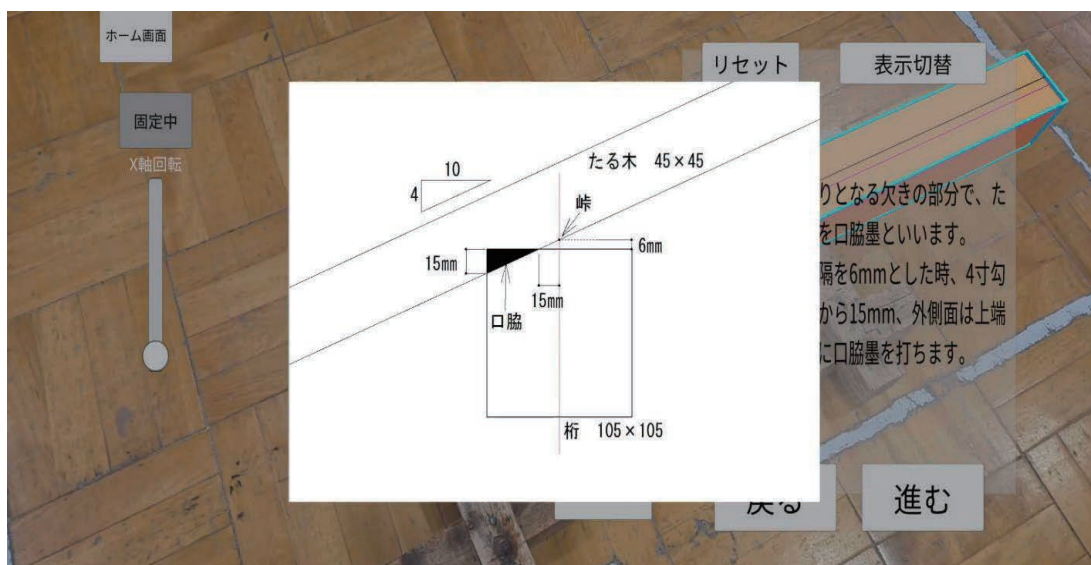
画面に表示される図は、タップすることで拡大することができ（付図 3.6）、拡大された図の外側の領域をタップすることで元に戻すことができる。



付図 3.4 AR 教材の画面構成



付図 3.5 加工後の 3 次元モデル



付図 3.6 AR 教材の画面構成

### 3. AR 教材の使用場面と進行について

本教材は、実際の墨付けと並行して利用することを想定して開発した。しかし、墨付け前の予習や作業後の復習などの利用も想定され、携帯端末があれば利用できる点から使用場面を限定せず、幅広い状況で使用できることが考えられる。

AR 教材の進行方法について述べる。アプリを立ち上げると、付図 3.7 に示すタイトル画面が表示される。教材の利用が初めての際は、画面左下の「操作方法」より、操作方法を確認する。「操作方法」では、前章で述べた各ボタンやスライダーの機能や AR 教材の進行方法について説明している。

教材を利用したい場合は、タイトル画面中央の「本編スタート」を押すと、端末のカメラを用いて AR 機能が起動し、付図 4 や付図 5 に示す画面が表示される。AR 機能が起動したら、使用者はスティックボタン、スライダーを操作し、3次元モデルが任意の場所に表示されるよう調整する。調整後、誤操作で3次元モデルがずれないように、「位置固定」ボタンでスティックボタン、スライダーを非表示にする。その後、「進む」を押して教材の閲覧を開始する。

教材を進めると、画面右側のパネルに墨付け手順の説明が表示され、その手順で引く墨や関連する墨の3次元モデルの色が変わる。合わせて、さしがねの3次元モデルが移動、回転し、さしがねの当て方の手本を示し、シーンによっては画面中央上に図が表示される。

使用者は、任意のタイミングで木材のモデルの表示を切り替えたり、X軸回転をさせたりして、手順の墨の加工イメージの確認、他の墨との関係の把握、また実際の使用者の墨付けと照らし合わせて引いた墨が正確か確認をすることができる。これらの機能の利用により墨付け作業の自学自習が可能であり、使用者が墨線の意味を理解しながら隅木と桁の墨付け作業を習得できると考えられる。



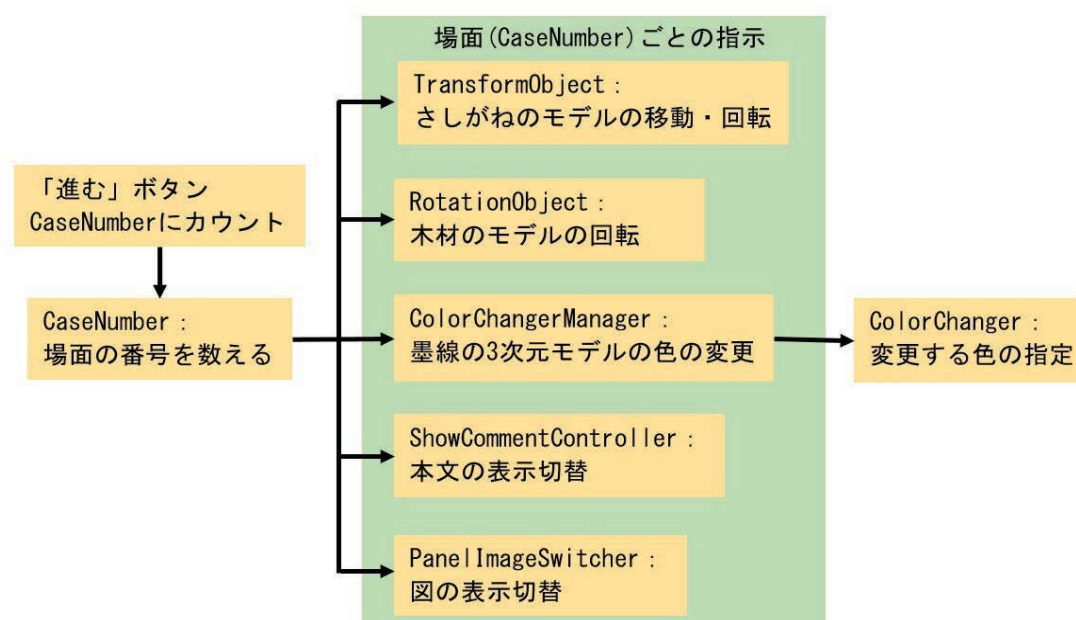
付図 3.7 AR 教材のタイトル画面

#### 4. AR 教材のシステム構成について

本研究で開発した AR 教材アプリのシステム構成について述べる。付図 3.8 に本教材のシーン進行ごとの指示について示す。「進む」ボタンが押されると、CaseNumber というスクリプトに Case 番号のカウントを指示する。CaseNumber は Case 番号のカウントをするとともに、UI や 3 次元モデルの各コントローラーへと、Case 番号を通知し、番号ごとに設定された操作を実行するように指示する。各コントローラーは、通知された番号ごとの操作を実行し、UI や 3 次元モデルを動かす。「戻る」、「リセット」も同様に、ボタンを押すことで CaseNumber が Case 番号を一つ戻す、リセットするとともに各コントローラーへ番号を通知することで、各コントローラーが UI やオブジェクトを操作する。

従来の教材では、付図 3.9 に示すように、番号ごとの操作内容をスクリプトのコード上に直接書き込んでいた。しかし、この状態だと操作内容を追加、編集したいときに、コードを誤って編集してしまうおそれがある。コードは、一文字でも欠けると動かなくなる場合があり、コード上に直接書き込む形式はシステムの安全性上とても危険であった。

そこで、システム構成の改善を行い、コード上に直接書き込む形式だった部分を、Unity 上で編集可能な形式へと改善した（付図 3.10）。この改善によって、システムの安全性を高めるだけでなく、操作内容の編集がより容易になったことでコードの知識がなくても容易に編集が可能になった。また、これまでは、コードを編集するためには Visual Studio を開く必要があったため、その必要性がなくなったことで編集時間の短縮にもつながった。



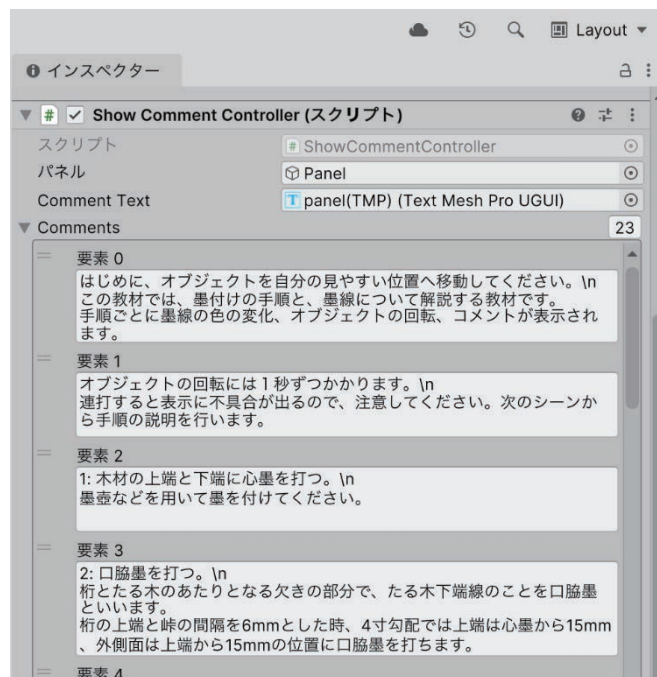
付図 3.8 システムの構成図

```

// コメントを表示するメソッド
private void ShowComment(int index)
{
    string text = "";
    switch (index)
    {
        case 0:
            text = "はじめに、オブジェクトを自分の見やすい位置へ移動してください。";
            break;
        case 1:
            text = "この教材では、墨付けの手順と、墨線について解説する教材です。" +
                "手順ごとに墨線の色の変化、オブジェクトの回転、コメントが表示されます。";
            break;
        case 2:
            text = "オブジェクトの回転には1秒ずつかかります。" +
                "連打すると表示に不具合が出るので、注意してください。" +
                "次のシーンから手順の説明を行います。";
            break;
        case 3:
            text = "1: 木材の上端と下端に心墨を打つ。" +
                "墨壺などを用いて墨を付けてください。";
            foreach (var changer in case3ColorChangers)
            {
                changer.ChangeColor();
            }
            break;
        case 4:
            text = "2: 口脇墨を打つ。" +
                "桁とたる木のあたりとなる欠きの部分で、たる木下端線のことを口脇墨といいます。" +
                "桁の上端と畔の間隔を6mmとした時、口脇墨は15mmとなります。";
            // case 3 のオブジェクトに色をつける
    }
}

```

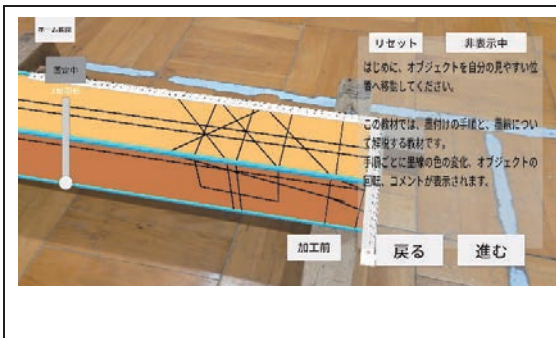
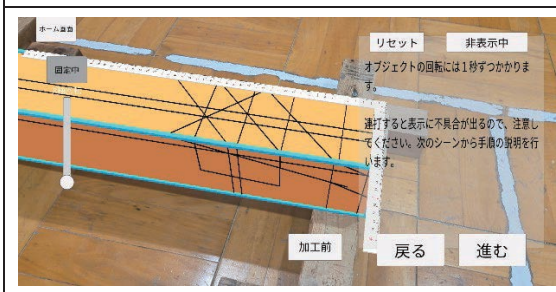
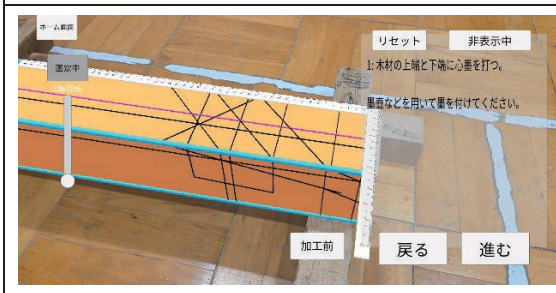
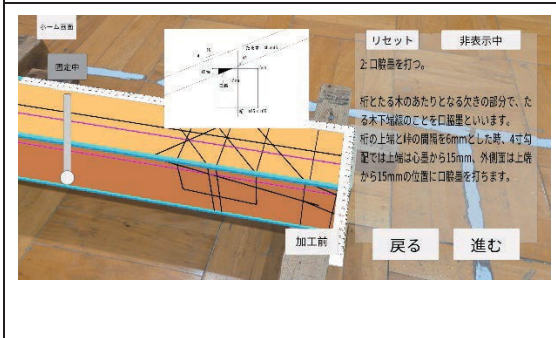
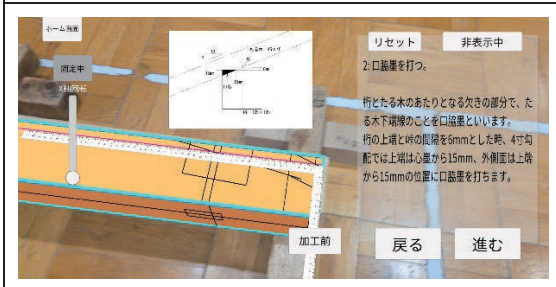
付図 3.9 従来の Case 番号ごとの操作内容の指示

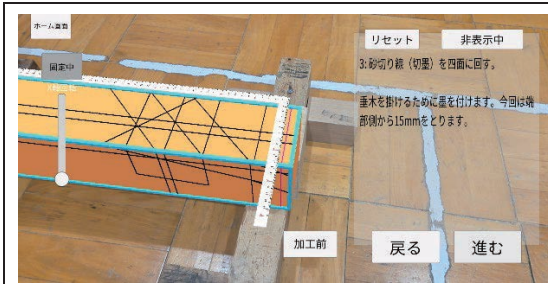


付図 3.10 改善した Case 番号ごとの操作内容

以下に、制作した AR 教材の桁下木の操作画面（付表 3. 2）及び隅木の操作画面（付表 3. 3）を示す。

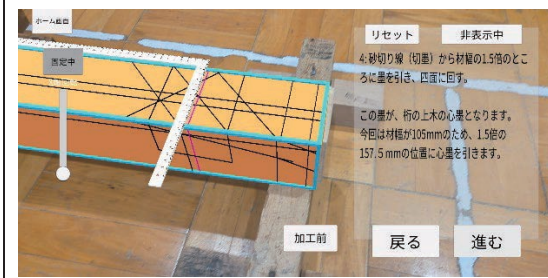
付表 3. 2 AR 教材の内容（桁下木側の墨付け作業）

 <p>ホーム画面 表示中</p> <p>リセット 非表示中 はじめに、オブジェクトを自分の見やすい位置へ移動してください。</p> <p>この教材では、墨付けの手順と、墨線について解説する教材です。 手順ごとに墨線の色の変化、オブジェクトの回転、コメントが表示されます。</p> <p>加工前 戻る 進む</p>	<p>はじめに、オブジェクトを自分の見やすい位置へ移動してください。</p> <p>この教材では、墨付けの手順と、墨線について解説する教材です。 手順ごとに墨線の色の変化、オブジェクトの回転、コメントが表示されます。</p>
 <p>ホーム画面 表示中</p> <p>リセット 非表示中 オブジェクトの回転には1秒ずつかかります。</p> <p>連打すると表示に不具合が出るので、注意してください。次のシーンから手順の説明を行います。</p> <p>加工前 戻る 進む</p>	<p>オブジェクトの回転には 1 秒ずつかかります。</p> <p>連打すると表示に不具合が出るので、注意してください。次のシーンから手順の説明を行います。</p>
 <p>ホーム画面 表示中</p> <p>リセット 非表示中 1: 木材の上端と下端に心墨を打つ。 墨罫などを用いて墨を付けてください。</p> <p>加工前 戻る 進む</p>	<p>1: 木材の上端と下端に心墨を打つ。</p> <p>墨罫などを用いて墨を付けてください。</p>
 <p>ホーム画面 表示中</p> <p>リセット 非表示中 2: 口脇墨を打つ。 桁とたる木のあたりとなる欠きの部分で、たる木下端線のことを口脇墨といいます。 桁の上端と桁の間隔を6mmとした時、4寸勾配では上端は心墨から15mm、外側面は上端から15mmの位置に口脇墨を打ちます。</p> <p>加工前 戻る 進む</p>	<p>2: 口脇墨を打つ。</p> <p>桁とたる木のあたりとなる欠きとりの部分で、たる木下端線のことを口脇墨といいます。 桁の上端と桁の間隔を 6mm とした時、4 寸勾配では上端は心墨から 15mm、外側面は上端から 15mm の位置に口脇墨を打ちます。</p>
 <p>ホーム画面 表示中</p> <p>リセット 非表示中 2: 口脇墨を打つ。 桁とたる木のあたりとなる欠きの部分で、たる木下端線のことを口脇墨といいます。 桁の上端と桁の間隔を6mmとした時、4寸勾配では上端は心墨から15mm、外側面は上端から15mmの位置に口脇墨を打ちます。</p> <p>加工前 戻る 進む</p>	<p>同上</p>



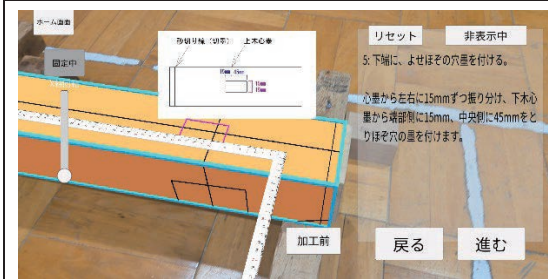
3: 砂切り線（切墨）を四面に回す。

今回は端部から 15mm をとります。



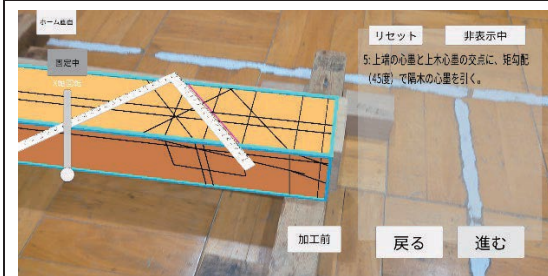
4: 砂切り線（切墨）から材幅の 1.5 倍のところに墨を引き、四面に回す。

この墨が、桁の上木の心墨となります。  
今回は材幅が 105mm のため、1.5 倍の 157.5mm の位置に心墨を引きます。

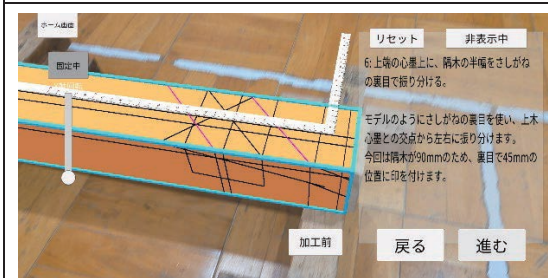


5: 下端に、よせほぞの穴墨を付ける。

桁心墨から左右に 15mm ずつ振り分け、上木心墨から端部側に 15mm、中央側に 45mm をとり、ほぞ穴の墨を付けます。

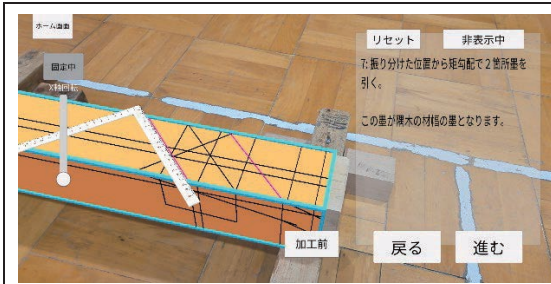


6: 上端の心墨と上木心墨の交点に、矩勾配 (45 度) で隅木の心墨を引く。



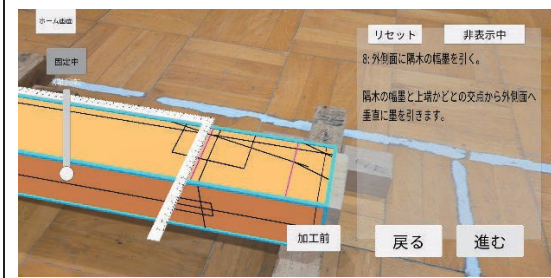
7: 上端の心墨上に、隅木の半幅をさしがねの裏目で振り分ける。

モデルのようにさしがねの裏目を使い、上木心墨との交点から左右に振り分けます。  
今回は隅木が 90mm のため、裏目で 45mm の位置に印を付けます。



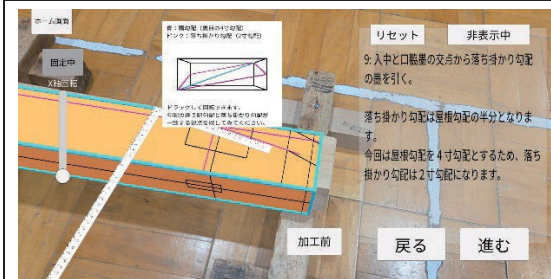
8: 振り分けた位置から矩勾配で2箇所墨を引く。

この墨が隅木の材幅の墨となります。



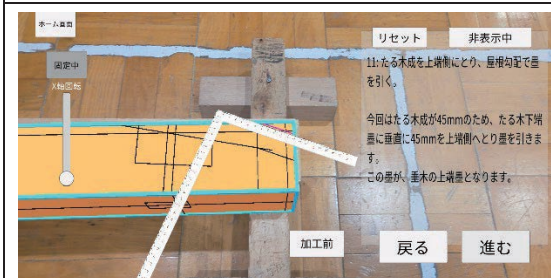
9: 外側面に隅木の幅墨を引く。

隅木の幅墨と上端かどとの交点から外側面へ矩の手（直角）に墨を回し、欠き込み深さ辺りまで引きます。



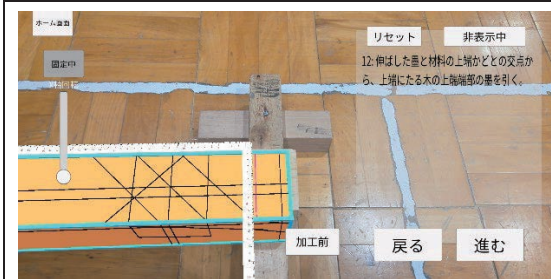
10: 欠き込みが浅くなる方の隅木幅墨と口脇墨の交点から落ち掛かり勾配の墨を引く。

落ち掛かり勾配は平勾配（屋根勾配）の半分（半勾配）となります。  
今回は屋根勾配を4寸勾配とするため、落ち掛かり勾配は2寸勾配になります。

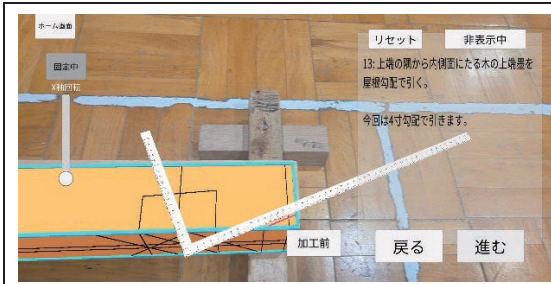


11: たる木成を上端側にとり、平勾配で墨を引く。

今回はたる木成が45mmのため、たる木下端墨に垂直に45mmを上端側へとり、平勾配の墨を上端かどから切墨まで引きます。  
この墨が、垂木の上端墨となります。

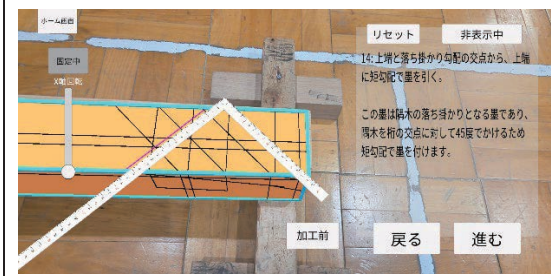


12: 側面のたる木上端墨を隅木上端に矩の手に回す。



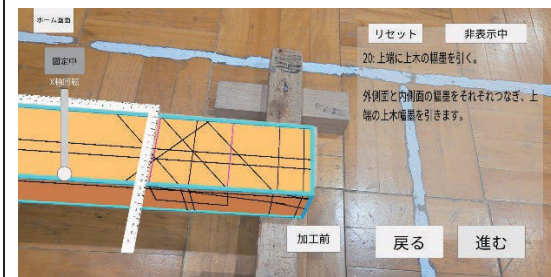
13: 内側面にたる木の上端墨を平勾配で引く。

今回は 4 寸勾配で引きます。



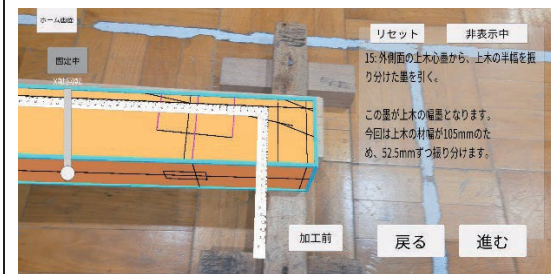
14: 外角と落ち掛かり勾配の交点から、上端に矩勾配で墨を引く。

この墨は隅木の落ち掛かりとなる墨であり、隅木を桁の交点に対して 45 度でかけるため矩勾配で墨を付けます。



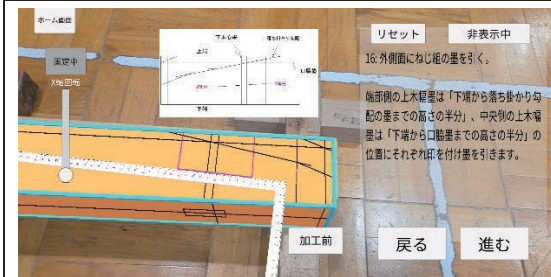
15: 上端に上木の幅墨を引く。

上端心墨上で上木の半幅を振り分け、上木幅墨を引きます。今回は上木の材幅が 105mm のため、52.5mm ずつ振り分けます。



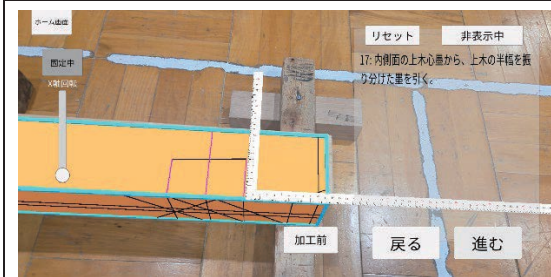
16: 上端の上木幅墨を外側面に矩の手(直角)に回し、欠き込み深さまで墨を引きます。

この墨が上木の幅墨となります。今回は上木の材幅が 105mm のため、52.5mm ずつ振り分けます。

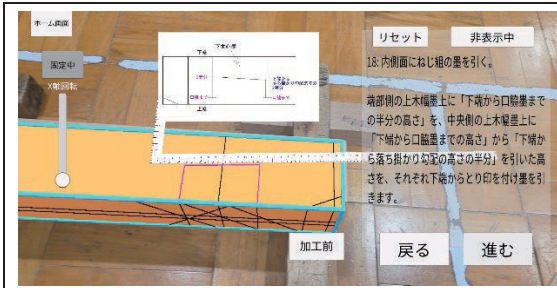


17: 外側面にねじ組の墨を引く。

端部側の上下幅墨は「下端から落ち掛かり勾配の墨までの高さの半分」、中央側の上下幅墨は「下端から口脇墨までの高さの半分」の位置にそれぞれ印を付け墨を引きます。

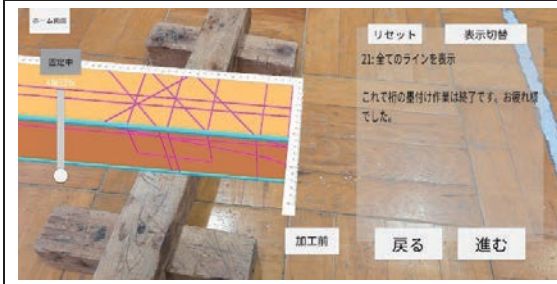


18: 上端の上木幅墨を内側面に矩の手(直角)に回し、欠き込み深さまで墨を引きます。



19: 内側面にねじ組の墨を引く。

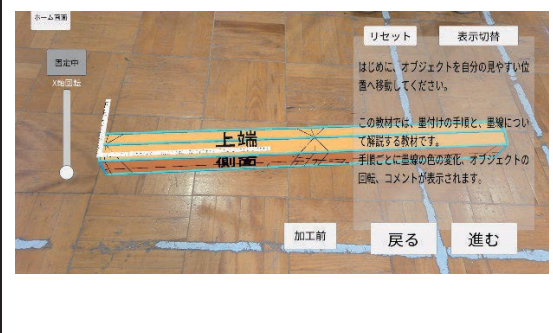
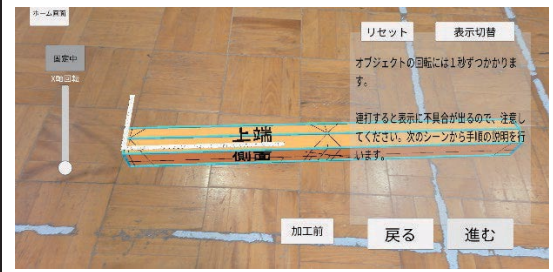
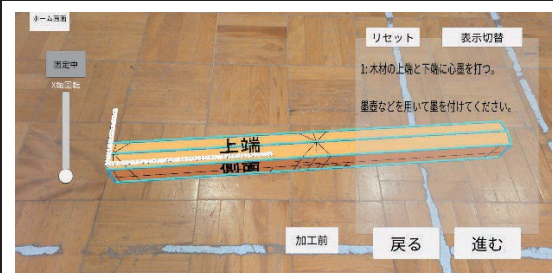

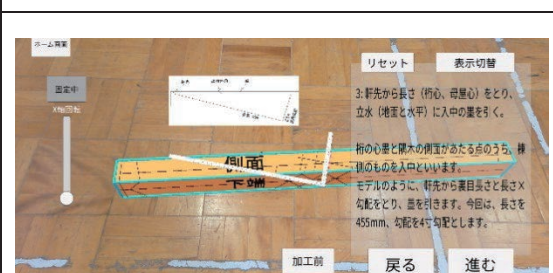
端部側の上木幅墨上に「下端から口脇墨までの半分の高さ」を、中央側の上木幅墨上に「下端から口脇墨までの高さ」から「下端から落ち掛かり勾配の高さの半分」を引いた高さを、それぞれ下端からとり墨を引きます。

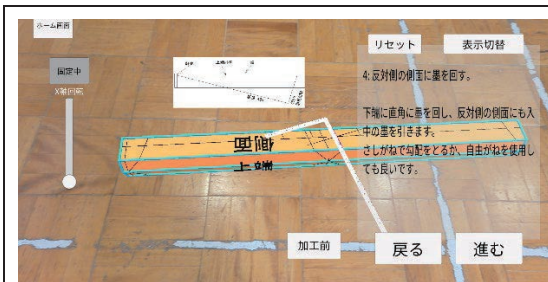


20: すべてのラインを表示

これで桁の墨付け作業は終了です。お疲れさまでした。

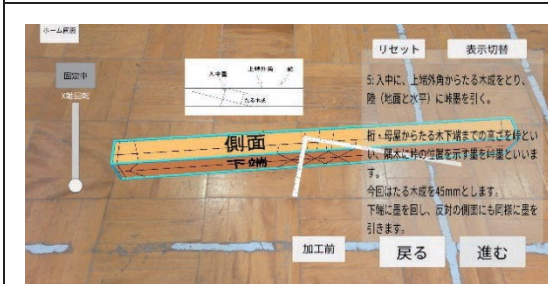
付表 3.3 AR 教材の内容 隅木

	<p>はじめに、オブジェクトを自分の見やすい位置へ移動してください。</p> <p>この教材では、墨付けの手順と、墨線について解説する教材です。 手順ごとに墨線の色の変化、オブジェクトの回転、コメントが表示されます。</p>
	<p>オブジェクトの回転には 1 秒ずつかかります。</p> <p>連打すると表示に不具合が出るので、注意してください。次のシーンから手順の説明を行います。</p>
	<p>1: 木材の上端と下端に心墨を打つ。</p> <p>墨壺などを用いて墨を付けてください。</p>
	<p>2: 材端から少し入ったところに軒先（基準）の墨を付ける。</p> <p>今回は材端から 15mm のところに軒先を付けます。</p>
	<p>3: 軒先から長さ（桁心、母屋心）をとり、立水（地の間と垂直）に入中の墨を引く。</p> <p>桁の心墨と隅木の側面が当たる点のうち、棟側のものを入中といいます。</p> <p>モデルのように、軒先から裏目長さ×長さ×勾配をとり、入中を引きます。今回は、長さを 455mm、勾配を 4 寸勾配とします。</p>



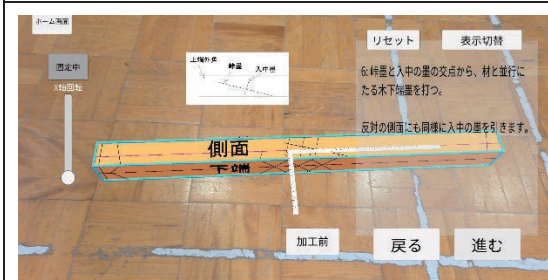
4: 反対側の側面に墨を回す。

下端に直角に墨を回し、反対側の側面にも入中の墨を引きます。  
さしがねで勾配をとるか。自由がねを使用しても良いです。



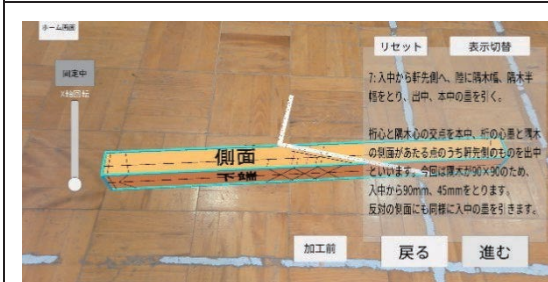
5: 入中に、上端外角からたる木成の立水寸法をとり、水平（陸）に峠墨を引く。

桁・母屋の入中とたる木下端の交点を峠といい、隅木に峠の位置を示す墨を峠墨といいます。  
今回はたる木成を45mmとします。  
反対側の側面にも同様に峠墨を引きます。



6: 峠墨と入中の墨の交点を通るたる木下端墨を材に平行に打つ。

反対の側面にも同様にたる木下端墨を打ちます。



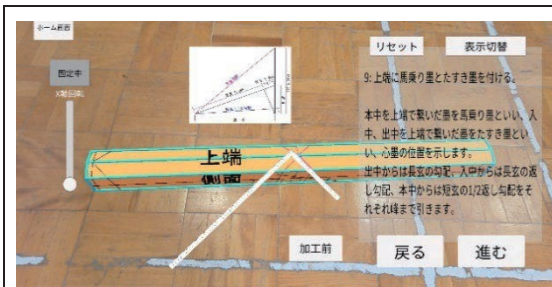
7: 入中から軒先側へ、水平（陸）に隅木半幅と隅木幅をとり、本中、出中の墨を引く。

桁心と隅木心の交点を本中、桁の心墨と隅木の側面が当たる点のうち、軒先側のものを出中といいます。今回は隅木が90×90のため、入中から45mm、90mmをとります。反対側の側面にも同様に本中、出中を引きます。



8: 出中から棟側へ、水平にたる木の間隔を裏目でとり、立水にたる木の中心の墨を引く。

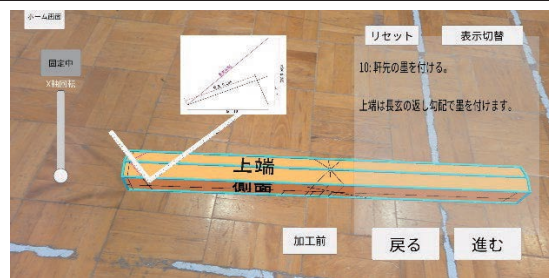
今回はたる木の間隔を455mmとするため、裏目で455mmを出中からとり墨を引きます。反対の側面にも同様にたる木の中心墨を引きます。



9: 上端に馬乗り墨とたすき墨を付ける。

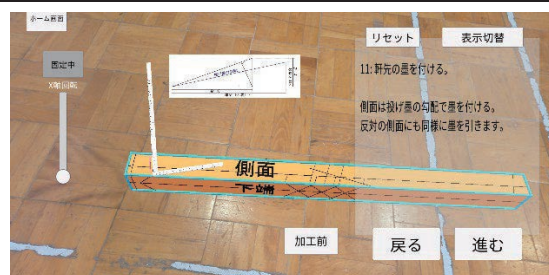
本中を上端でつないだ墨を馬乗り墨といい、入中、出中を上端で繫いだ墨をたすき墨といい、心墨の位置を示します。

出中からは長玄の勾配、入中からは長玄の返し勾配、本中からは短玄の1/2返し勾配をそれぞれ峰まで引きます。



10: 軒先の墨を付ける。

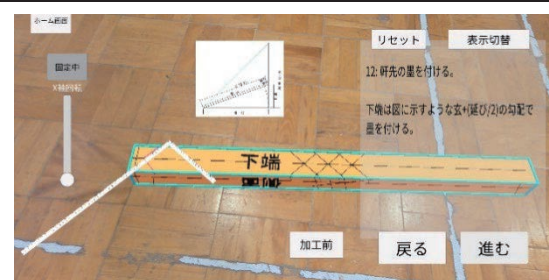
上端は長玄の返し勾配で墨を付けます。



11: 軒先の墨を付ける。

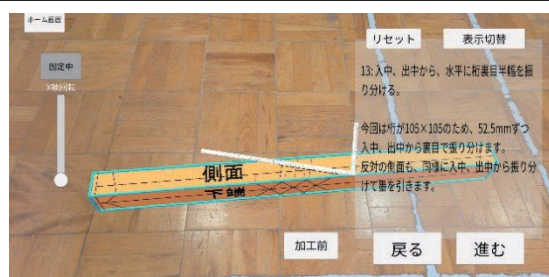
側面は投げ墨の勾配で墨を付ける。

反対の側面にも同様に投げ墨を引きます。



12: 軒先の墨を付ける。

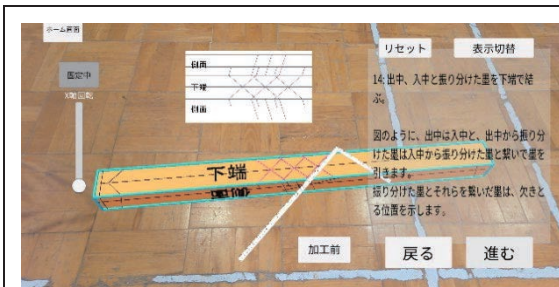
下端は図に示すような玄+(延び/2)の勾配で墨を付ける。



13: 入中、出中から、水平に桁裏目半幅を振り分ける。

今回は桁が105×105のため、52.5mmずつ入中、出中から裏目で振り分けます。

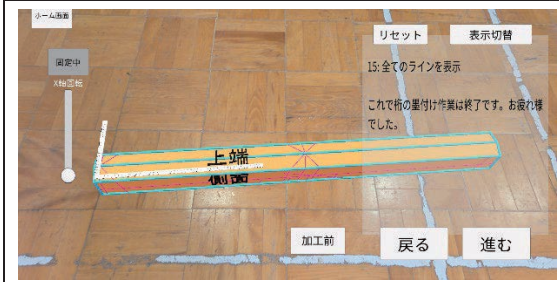
反対の側面にも、同様に、入中、出中から振り分けて墨を引きます。



14: 出中、入中と振り分けた墨を下端で結ぶ。

図のように、出中は入中と、出中から振り分けた墨は入中から振り分けた墨と繋いで墨を引きます。

振り分けた墨とそれらを繋いだ墨は、欠きとる位置を示します。



15: すべてのラインを表示

これで隅木の墨付け作業は終了です。お疲れさまでした。