

会 議 録	
会 議 名	令和4年度 第1回丸亀城天守耐震対策専門部会
開催日時	令和5年2月13日（月） 13：00～14：30
開催場所	丸亀市立資料館 2階ギャラリー
出 席 者	○出席委員 麓 和善 委員 西形達明 委員 山中 稔 委員 宮本慎宏 委員 ○欠席委員 なし ○文化庁文化財資源活用課耐震対策部門 文化財調査官 玉井浩登 （webにて参加） ○香川県教育委員会事務局 生涯学習・文化財課 主任文化財専門員 渡邊 誠 ○事務局出席者 教育部長 七座武史 文化財保存活用課 課長 東 信男 丸亀城管理室 室長 大林隆之 〃 担当長 阪本晃弘 〃 主任 眞鍋一生 ○その他の出席者 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会
議 題	(1) 丸亀城天守耐震診断検討結果について（審議）
傍 聴 者	なし

発言者	発言要旨
-----	------

事務局	【開会】 【教育部長あいさつ】 【事務局自己紹介】 【議事】 議事に入ります前に本日の出席委員は 4 名であり、委員の過半数を超えておりますので、丸亀城天守耐震対策専門部会設置規約第 6 条第 2 項の規定により、本委員会が成立していることをご報告いたします。 それでは議事に移りたいと思います。 この後の議事につきましては、丸亀城天守耐震対策専門部会設置規約第 6 条第 1 項の規定により、会議は部会長が議長となるとありますので、本日は部会長に議事を進めていただきたいと思います。 それでは議長よろしく願いいたします。
議長	それではこれから議事に移りたいと思いますので、よろしくお願いします。 この今日の議事、の内容を議事録にまとめて、その署名をすることになっております。2 名です。 今回は、山中先生と宮本先生にお願いしたいんですが、よろしいでしょうか。
議長	【了承】 それともう一つ、会議の公開か非公開かということを、ここで承認をする必要があるようですので、今日の会議を公開としたいと思いますが、よろしいでしょうか。
議長	【了承】 それでは公開といたします。 続きまして、事務局から今日のスケジュールについて説明をお願いいたします。
事務局	失礼します。説明させていただきます。

議長	本日の会議ですが、次第にもございますように、丸亀城天守耐震診断検討結果についてのご審議意見のみとなっております。 令和 2 年度より審議をいただいておりますが、耐震診断の検討についての審議は今回が最後と考えております。委員の皆様には、忌憚のないご意見をご教示いただきたく存じます。なお、終了予定時刻は午後 3 時を予定しておりますのでご協力のほどよろしくお願い申し上げます。以上です。 それでは議事に移りたいと思います。 議事は先ほどから言われておりますように、今日は一つで、丸亀城天守耐震診断検討結果について、まず事務局から説明をしていただいて、委員の皆様からご意見とかご質問とかいただきたいと思います。それでは事務局お願いいたします。
事務局	それではご説明いたします。 令和 3 年 7 月 7 日に開催いたしました、前回の専門部会でご審議いただいた内容と、重複いたしますが、確認の意味も込めまして、再度ご説明差し上げます。 まず、天守建物の耐震診断の検討内容、結果、続いて天守台石垣における耐震診断の検討内容、ならびにその結果についてのご説明を文建協さんよりいたします。文建協さんよろしくお願いいたします。
文建協	文化財建造物保存技術協会です。本日はよろしくお願いします。 今日の審議内容が、丸亀城天守耐震診断検討結果についてということで、ご報告させていただく内容が二つに分かれております。 一つが資料 1 の方の丸亀城の天守建造物の今まで耐震診断、令和 2 年度から調査をして、診断をさせていただいた内容のご報告、一応 1 回ご報告させていただいているんですが、おさらいということで、それとあと、資料 2 の関係で、丸亀城の石垣の耐震検討につきまして、結果をご報告させていただきたいと考えております。 詳しくは構造設計課の津和の方からご報告させていただきます。 よろしくお願いします。
文建協	それでは資料 1 の方から説明をさせていただきます。 建物の耐震診断の方ですけれども、天守の方ですがこれは以前承認いただいている内容になりますけれども、時間がちょっと空いていますので、もう一度、説明をさせていただきます。 まず診断方法については限界耐力計算と時刻歴応答解析を行っておりまして、限界耐力の方では立体フレームモデルを構築して、その静的増分解析から荷重変形を算出して、限界耐力計算を実施していると。 時刻歴の方も同じくその立体フレームを用いて、時刻歴の応答解析を実施しております。 設計水準の方は、目標とする耐震性能については文化庁の指針に則りまして、今回は安全確

	保水準を目指しまして、層間変形角の目安は 30 分の 1 以下ですけれども、柱の折損等がない、曲げ破壊がないっていうのを確認して、折損しない変形角までを許容すると、15 分の 1 程度までということで検討しております。 地盤調査の方を行ってまして、図 1 のポイントですねボーリング、丸印がボーリングで、三角の印がサウンディングですけれども、それを行っています。 天守の中で、ボーリング 1 点ありますけれどもこの B4 のところで P S 検層も行っているという形になります。 2 ページ目にいただいて、各ボーリング地点での柱状図と P S 検層の結果を載せております。 約深度 6m ぐらいのところで、岩が確認できているという形で、検討結果が出ております。その上の層は砂れき層ですという形で確認をしております。 3 ページ目にいただいて、荷重についてですけれども、積載荷重は見学者等、あと屋根部の点検等の実情を鑑みまして、積載荷重を表のような形で設定をしております。 積雪荷重については、基準法に則って検討しております。 地震荷重については、①、②にあります但境界耐力計算では、必要性能スペクトルを、P S 検層の結果からですね G S を算出して精算しているという形にしております。 ただ今回天守の石垣の部分も含めた形で、崖地のような形の地形だということを考慮してですね、国交省から出されている崖地の割り増し計算の数式を用いて、崖地の割り増しをした場合という形で、パラスタのような形で検討もしております。 地域係数については、0.9 ですけれども、1.0 も併せて検討していると。 時刻歴応答解析の方は、告示波の八戸、神戸、乱数波の位相 3 波を工学基盤から上部の地盤形状を考慮して、地震波を作成しているという形で、それで時刻歴応答解析を行っております。 GS の算定は、図 6 に示しておりますけれども、今回の精算値ですね、オレンジ色の線のような形で、略算の数値よりも、短周期のところは少し上回っているところもありますけれども、それよりも下回るような形の非常に地盤的には比較的良い地盤という形で評価ができております。 告示波の最大値をプロットしたものはブルーの線になります。 4 つ目の風荷重についてですけれども、風荷重も建築基準法に準じて検討はしておりますが、今回地形の方が、図 7 に示すような形で、これ断面図ですけれども、天守台がある石垣から、その下のこの図中で a: 石垣上部って書いてあるところから更に下の段がついて、一段下がったような形で、b: 石垣下部というところからの風の高さっていうのをこの委員会の中でも、ご意見をいただきまして、石垣下部の高さでも検討しているという形になります。 4 ページ目の方が、具体的な風荷重の算出した結果、これは後程、地震荷重とも含めてご説明をします。 右側の方の解析モデルについてですけれども、解析モデルは図 8 のような形で立体のフレームのモデルですね、柱と梁を主架構にしたもので検討しております。 また土壁の方が耐震要素としては、今回含められるということで、それはブレース置換をし
--	--

	て検討していると、あと屋根面と床面の面内剛性も考慮して、3次元の立体フレームの解析で行っております。 建物の重量の方については表3に示すような形で算出をしております。 5ページ目にいただいて、6の耐震要素のモデル化についてですが、柱抜きの接合部と、土壁がメインの耐震要素になるという形で、貫の方は通し貫、あるいは端部の柱に刺さっている部分という片側の端部ということで、これは既往の評価式に基づいて算出をしております。 土壁の方も文化庁の指針に則って、厚さをですね、1階は90mm、2階が129mm、3階が112mmということで、あと内壁が52mmということで、調査結果からこの厚さを掛けて、文化庁のベースのものに掛けて、図11のような形で算出をしております。 水平構面についてですが、こちらも既往の評価式等を用いて、屋根面と床面のそれぞれの剛性を検討しているという形で、屋根面の方は瓦屋根相当と、床面は杉板相当という形で検討しています。 ただ経年劣化等も考えられるのでその辺は既往の実験等を参考に、過大にならないような形で評価をしております。 右側の7の時刻歴応答解析のモデルについてですが、こちらも基本的には1と2のような形の履歴曲線を用いて検討しております。 減衰については、今回、常時微動測定で人力加振をして、建物の減衰定数が2%であったということに基づいて瞬間剛性比例型減衰で2%を考慮して検討しております。 6ページ目にいただいて、診断結果の方ですが、荷重変形関係については、X方向とY方向でグラフが実線に書かれているものが、建物の荷重変形でグレーが3階、オレンジが2階、ブルーが1階で、その中に点線で書かれている破線の部分ですが、大きめのアラメの点線が極稀風荷重の荷重です。細かい点線が稀風の荷重です。 建物とこの荷重と風荷重を比較すると、稀風荷重については建物耐力の方が上回っているという形で確認をしておりますが、極稀の風荷重については、一部、例えばX方向の1階ですとか、Y方向は、1階と2階の方が少し極稀については、風の方が上回ってしまっているということを確認しております。 右側の方が、限界耐力計算と地震応答解析をした結果についてですが、先ほど申した通りGSを精算したもので、地域係数0.9にしたものの状態が①です。 すいません、ちょっと①と②の書き方があれですけど、Zを1.0にしたものが下になります。表の中を見ていただいて、GS精算が、左、限界耐力計算、2つ、2列ありますけども、左側がGSを精算したもの、右側がGSを精算してかつ崖地を考慮したものの形になります。 右側は時刻歴応答解析の応答値です。層間変形角を示しております。 結論から言いますと、一番大きく変形していても、崖地を考慮して、地域係数ケース1.0になった場合の、限界耐力計算の結果が15分の1で最大が15分の1ということで、それ以外は15分の1以内に収まっておりまして、20分の1前後ですね、時刻歴応答解析では、波形によってばらつきはありますが、3階は、50分の1前後の応答値で、比較的抑えられた数字になっています。
--	--

八千代	1 階が一番大きく変形して 25 分の 1 という形で確認をしております。 いずれのパターンも、柱の折損は生じておりませんので、変形能力があるということで確認をしております。 ということで、この現状の性能は、安全確保水準を満足する応答値で収まっているということで確認をしておりますけれども、小壁等が今回非常に多い建物になっていまして、小壁の下端は貫とか横架材で支えられているんですけれども、端部その横架材に引き抜きが生じていることを、確認をしております。 そういった引抜けが生じたときに、その部材が外れて落下して、壁が効かなくなってしまうとか、そういう横架材の落下等の引抜けの防止の補強が必要であるということで、確認をしております。 風に対しては、先ほど申した通り、一部、極稀の風荷重の場合で建物耐力を上回っているということなんですけれども、極稀の風というのは、スーパー台風などの事前に気象情報等で、近年予測することも可能であるということで、またそういった時はあまりお客さんも、公開しないということも分かっていますので、今後もそういった建物に入らない、近づかないということの運用面、ソフト面に対応するというので、検討をしております。 7 ページ目に、その小壁等の接合部の補強箇所ですけれども、まず図中にあるような図 13 にあるような形で、小壁の下の貫ですとか、あとはこの外回りからの横架材ですね、梁が柱の方に刺さっていますけれども、そこの端部の引抜きが生じるということで、この各接合部が抜けないような補強接合部の補強をするということで図 14 に記載しています。 文化庁さんの方に、事前にちょっとお送りしているのが、図が無いものだったもので共有が今すぐ出来ないで申し訳ないですが、口でも説明しますけれども、金物自体は短冊金物みたいなものかコーナー金物を貫のところに付けるという形で考えております。 そういった形で金物の形状自体は、実施設計の中で、具体的には本数ですとかビスの本数っていうのは決めていくような形になります。 以上のような形で、天守建物の耐震補強の方ですね、こちら今映しているのはコーナー金物ですね、ここの隅のところに付ける、特に特殊なことは考えておりませんけれども、そういったことを考えております。 以上で、建物の方の天守台の耐震診断の内容になります。 引き続き、資料 2 の方の説明ですね、石垣の耐震診断の方の内容についてご説明をさせていただきます。八千代エンジニアリング堀内です。 資料の方 2-1 と 2-2 の分割になっていまして、2-1 で概要のご説明、2-2 は資料編ということで、適宜ご覧いただくということでよろしくお願いいたします。 まず資料 2-1、概要の 1 ページ目をご覧ください。 今回の石垣耐震検討内容ということで、中央の上に表を示しておりますけれども、3 つの診断をしております。 ①がはらみ出し指数によるはらみ出しの分析。 ②が示力線を用いた石垣本体の簡易耐震診断。
-----	--

	③が円弧滑り法による、周辺地盤を含めた全体の安定ということでございます。 それぞれの内容につきまして下に四角囲いで三つ横に並べておりますけれども、ちょっと詳しい内容は割愛させていただいて、実際の検討の結果の内容でご説明したいと思います。 続いて 2 ページ目に耐震診断結果概要ということで、三つの結果の概要をまず 1 ポツで、表として示しております。 その下、左の方に検討結果の概要ということで①②③それぞれについてのコメントを書いております、その右に全体の検討フローを示しています。 まずフローの方からご説明いたします。 今回の石垣耐震診断に先立ちまして耐震性能の推定ということでこれまでこちらに示すような地震があつて、被災をされているということですのでけれども、大きな被害の記録というのは発見されてないという状況であります。 2 番目の設計水平震度の設定ということで、今回重要文化財の天守を支持する石垣ということで、レベルⅡ地震動を対象としております。 道路土工擁壁工指針から、耐震設計の水平震度について設定しており、0.16 という値を用いています。3 番目が石垣の耐震診断ということで、こちらは、はらみ出し法をOK、示力線法OK、円弧滑り法は、過去の履歴より判断しますということで書いておりますが、詳しくは左の方の概要の四角囲いをご覧くださいと思います。 まず①はらみ出し法につきまして、顕著のはらみ出しは確認されなくて弱部等の問題はないでしょうということです。 対策工につきましては特に緊急対策は不要と考えています。 ②の示力法につきましての安定につきましては、合力の作用位置が、石垣前面から背面側となっており、概ね耐震性を満足しているでしょうと判断しております。根入れ部につきましては、石垣の根石が岩着していると考えられていまして、根入れ部の安定を確保されていると判断しております。 こちらも緊急の対策工は不要と考えています。 ③の円弧滑り法につきましては、築城後、複数回の大地震を受けておりますが、損傷した記録はないということ。 ②の示力法の結果から、石垣部で損傷しないと仮定しますと、石垣部に粘着力Cを考慮してはということで、今回試算しています。 石垣部の粘着力Cにつきましては、地震時の水平震度 0.16、安全率 1.0 となる値を逆解析して設定しています。 ケース①としては、常時で安全率 1.0 となる値を逆計算で設定したものをケース②として試算しています。 ちょっと後ろの方で他のケースもパラメトリックスダディな解析ということで、試算しているということで後ほどご説明いたします。 常時は、ケース①ですね、地震時を 1.0 とした場合、常時は 1.215 になるということであります。 こちら円弧滑り法については、ちょっといろいろ考え方があろうかと思いますけれども、
--	---

	緊急な地震対策は不要と考えているということで、左下の黄色いハッチのまとめということで、丸亀城天守台の石垣の耐震安定性は常時、地震時において概ね照査を満足して、直ちに補強が必要な状態ではないというふうに考えております。 ちょっと具体的なご説明を 3 ページ目以降から行います。 3 ページが地盤の定数ということで、石垣の安定計算に用います、石垣背面土の土質定数につきましては、令和の元年及び 2 年に実施された地盤調査に基づいて行っています。 コア写真による土質の判断と、P S 検層、V S を考慮した設定ということで行っています。 一番左が令和 2 年度の地盤調査の抜粋ということで、ここでは一応推定値ということで提案されているんですけどもこちらを参考に、その右に検討に用いる土質定数というのを設定しています。 その右に地質の縦断図と地層の境界を赤で示したものを示しております。 天守台の上の方 B g 層というものと、あとその下の B g s 層というものがあまして、こちら盛土層になっておりまして B g 層が砂質系の地盤ということです。 B g 層がちょっと粘性土主体の層ということで、下のコア写真にもそれぞれ、B g 層、B g s 層を赤ハッチで示しておりますので、こういったような層ですということをご覧いただけたらと思います。 B g 層につきましては、コア写真から岩塊が主体だということでもあります。 R2 年度の地質調査の成果からは、N 値が 10 の土砂部分、N 値 10 というふうになっているんですけども、土砂部分についての値と判断して、N 値 10 というのは ϕ（内部摩擦角）と換算すると 29 度となり過少ではないかということです。 砂質土として、P S 検層から V s を求めて ϕ（内部摩擦角）を設定しておりまして、そこらは ϕ（内部摩擦角）が 40 度、γ（単位体積重量）は調査結果ですね 19.6 kN/m³ というものを用いるということであります。 次に B g s 層ですけれども、①としまして U U 試験、こちらの三軸圧縮試験されていまして、その時の ϕ（内部摩擦角）は 4.6 度、C（粘着力）が 25.6 と、次に V s から算出しますと C（粘着力）が 93 と大きな値になってくるということで、ちょっと②では、過大と判断しまして、ϕ（内部摩擦角）とともに、①を採用しているということでございます。 その下にあります A n 層安山岩ですね CM 級の岩になっておりますけども、こちらは地質調査の提案値を用いまして ϕ（内部摩擦角）38 度、C（粘着力）が 980 kN/m²、γ（単位体積重量）が 21.6 kN/m³ という値であります。 裏込めにつきましては、さっきの一般値、ϕ（内部摩擦角）40 度、C（粘着力）が 0、γ（単位体積重量）が 20 というものを用いております。 こちらが検討に用いる土質要素ということで右の中段ぐらいに赤囲いしていますけれども、一覧としてまとめておりまして、それぞれの採用の根拠的なものを下段に書いております。 続きまして 4 ページ目が地層の構成の設定ということで、円弧滑りの解析に用いる地盤構成につきましては R1、R2 の地盤の調査および R2 の微動アレイ探査をもとに、以下の考察を踏まえて設定しましたということです。
--	--

	①として当該地盤は、盛土層B gとB g s層と、あと岩盤層A nのだいたい2層で構成されているということでありまして、盛土層と岩盤層の2分割、下の方に示しています。 ②がR1の地盤調査で、P S検層で実施されていまして、S波速度の盛土層で250程度、岩盤層で980程度であるということです。表1と図1をご覧くださいしたら、調査の結果の抜粋を示しています。 ③のR2微動アレイ探査において、北側の岩盤についてS波速度分布が確認されておりますというものです。 ④R1、R2の地盤の調査から、天守付近のボーリング調査によって詳細の地盤線が設定されているというのが、図3の④になっています。 ⑤としましては、天守で実施されたR2の地中レーダー探査で、築石長ですとか、裏込め石の厚さ、というのを参考に、1、2段目の石垣を設定しているということです。 地層線の設定につきましては、岩盤層の上面については、③を参考にしてV Sが280程度を目安に、天守付近は④参考にして設定しましたということで、図2の⑥というものになっております。 続いて5ページ目です。 石垣のレーダー探査結果ということで、こちらは先ほども出てきましたけれども、築石の控え長さおよび裏込め石の厚さを、電磁波を用いて非破壊で探査しておりますということです。 探査方法を書いていますけれども、築石の厚さについては、見えている角石でキャリブレーションして石垣の部分で連続的に測定しているということです。そこから築石と裏込め石の厚さを推定しているということです。 築石につきましては、1個1個の築石についても、控え長の長さを設定して、右上のような表をですね、一つ一つの築石の長さを測定しておりまして、これを用いて示力線のモデルを設定したということでございます。 以上が調査の概要でありまして、6ページ目からが検討結果の概要となります。 6ページにはらみ出し法の結果ということで、ちょっと絵が小さいので、大きな絵が、資料編の39ページから、ございますので適宜ご覧ください。 右上には立面図とですね、ちょっと見にくいですがけれども各調査断面で断面図も一緒に書かれているというものになっておりまして、天守の北側の石垣面の立面図及び断面図というものになっております。 その平面的な位置関係は左の平面図に青いラインで示しておりますけれども、このラインの位置で断面が計測されておりまして、この断面について、はらみ出しの検討をしているということです。資料編でも40ページがその立面図になっています。 はらみ出しに検討結果資料編の41ページ、概要編の6ページの右下になっております。 こちらは標準の石垣断面ということで、算木積みの三段分3分割の高さというものを設定していただきまして左の赤のラインを標準の石垣の勾配ということで設定しまして、そちらを各断面、重ねて、はらみ出し部分を計測して、はみ出し指数を算出しているというものであります。 断面図に、旗揚げを示したものを、断面重ね合わせという部分に書いておりまして、こちら
--	---

	で計測した数値を、下の表に入れ込みまして最大はらみ出し量を δ とはらみ出しの高さ $H d$ δ 割る $H d$ ではらみ出し指数を算出しています。 判断基準としましては、はらみ出し指数 6 以下が安全ということでありまして各々所、それぞれ 6 を下回るという結果が得られまして、はらみ出しについては問題ないでしょうというふうに確認しております。 続きまして 7 ページ。 こちらが示力線法。こちらでは左の平面図の赤い破線のライン N1、3、5 という箇所で示力線のモデルを作成しまして検討しております。 こちら資料編にちょっと大きな絵がありますので、ちょっと見にくい場合は、ご覧ください。資料編については、計算自体は 48 ページ以降になります。 資料編の 48 ページではですね、背面の地盤が裏込め石と B g 層、B g s 層の 3 種類に分かれているんですけども、背面の土圧の計算上は、土質定数は一つしか設定できないという関係上、平均的な背面の土質定数を設定しています。 (1) では、背面の平均的な粘着力ということで、右の図にある赤の 1 点破線の土圧滑り線を設定しまして、その延長の比率で算出したというものであります。 こちらが 5 k N/m^2 という、あと重量につきましては、単位体積重量も同じように、面積比率で設定しているというものでございます。 資料編はその次のページですね、49 ページがモデルの設定のご説明ということで、その抜粋が概要の 7 ページ右上についております。 こちらは調査している築石の奥行き方向の計測をされた断面ですね、①と書いていますけど、レーザ測量による立面図がまずありまして、②がレーザ測量による断面図であります。 ③の旗上げですけども地中レーダーで築石の奥行きの深さを計測したラインがありまして、立面図に 1 から 17 番まで番号振っていますけれども、こちらの築石の奥行きの深さが計測されていて、そちらを用いております。 これらを用いまして三つ目の断面図ですね N1 測線と書いてあるものですが、断面図と立面図から各石の高さをですね、ちょっと茶色い薄い線ですけども、引っ張りまして、設定していると。 1 個 1 個の築石の奥行きは、地中レーダー探査からの結果を用いていると。 それぞれ直方体というふうな形を、想定して、このような形の石垣のモデルを作成しているということでもあります。 この石垣の一段、一段の底面について、示力線を算出しまして、つなげたというのが 50 ページ以降にありますような結果の図になっています。黄色いのが築石の部分で緑色が築石の底面の常時の場合は 2 分の 1 のライン、地震時の場合は 3 分の 1 のラインをまず目標の許容値としています。それを上回る場合でも法面よりも、背面側にあれば、一般的には安定しているということで、概ね OK というような判断をしております。概要および資料編 50 ページ以降を見ただけですと、赤い示力線の合力の作用位置というのは、一部緑色を超えていますが、石垣の法面は超えていないという状況を確認できるかと思います。
--	---

また、資料編の 50 ページ以降の各断面の下側にですね、根入れ部の安定についての結果を示していきまして転倒に関する照査、滑動に関する照査、支持力に関する照査とそれぞれありまして、それぞれ結果としては満足しているということになりました。 示力線については以上でして、次の概要の 8 ページ、石垣耐震診断、円弧滑り法についてでございます。 検討方針とありますけれども、石垣についてですね、石垣部分、築石部分について、どうモデル化するかということですが、そのページの右の上の方ですね、まず、石垣部分の定数 C（粘着力）$=0$ と ϕ（内部摩擦角）$=40$ 度とした場合に常時でも安全率が 0.272 となっており、常時でも崩れているみたいな結果になってきてしまうと。 これでは実際の状況は、モデル化ができていないと、いうふうに考えまして、石垣の築石の部分には、何かしらの粘着力を評価してもいいのではないかと考えてみました。 その値をどうするかなんですけれども、まずここでは粘着力 C について、こちらは、築城後、複数回大地震を受けているけど、損傷した記録はないということから地震時の安全率 1.0 となる C（粘着力）を出してみようということで算出しました。 こちらで試算したものが、その右の下側ですね赤で四角囲いしたところでございます。地震時が 1.0 となる C（粘着力）を算出しますと、C（粘着力）が 122.5 k N/m^2 というものになります。 こちらでこの値を用いて常時を計算してみますと、1.215 というような値になったということでございます。 こういった検討した後ですね、ちょっと次のページから、複数のパターンを計算してみているんですけども、概要の 9 ページからは、先程ご説明したケースが case1 というものですが、それに対して、表がございましてその表の case2、3 というのを実施しています。内容に書いていますけれども case2 が栗石と石垣の定数、地震時の安全率 1.0 で、石垣 C（粘着力）を逆計算していますということですが、石垣と築石について、調査ですね復旧工事をされているところで、試験をした結果をちょっと聞いていまして、そちらの値ですね石垣が ϕ（内部摩擦角）42 度、C（粘着力）は逆解析で求める。栗石については ϕ（内部摩擦角）16、粘着力 8 というのが試験値としてありまして、そちらを用いております。 一番右の安全率 F_s というところで赤文字が目標とした安全率で黒はその赤文字で設定した C を用いて出てきた安全率ということであります。 case2 は地震時 1.0 として石垣と栗石の定数を試験値に差し替えて行った結果というものでして、その場合、石垣の C（粘着力）は、case2 の場合 105.2 k N/m^2、地震時 1.0 とした時の常時は 1.204 という値になりました。 次に case3 としまして、今度は常時を 1.0 とした場合、こちらは地震の根拠というのははっきりしないところもありますので、常時であれば、今立っているということを根拠に 1.0 は必ずあるということで 1.0 とした場合です。こちらですと、石垣の C（粘着力）は 69.9 という値で地震を計算する 0.815 というものになってくるということでございました。 さらにちょっと、それぞれの円弧滑りの計算結果図が、9 ページの右側 10 ページとありまして、11 ページにさらに追加の検討というものを行っています。
--

事務局	追加の 1 というものが、常時を 1.2 とした場合の定数を入れ替えた場合の結果ということで、こちらの時の C（粘着力）は 104.4、地震時安全率は 0.996 というものになります。さらに追加の 2 としまして 1.2 よりも、1.2 というのは通常の設計の常時の目標値になりますけれども、それと 1.0 の間の 1.1 だと、どの程度になるかということで試算したものが追加の case2 というものです。 こちらですと石垣の C（粘着力）は 87.2 という値で、地震時は 0.906 というものになってくるということでございます。円弧滑りについては検討及び追加の検討というものの内容をご説明差し上げました。 石垣の耐震検討の内容につきましてのご説明は以上となります。失礼します。 事務局でございます。 先程のご説明の中にございました天守台石垣における耐震診断の検討結果についてでございますが、現在のところ石垣の耐震診断につきましては、明確に方法や基準などが定まっておらず、現在文化庁の方で議論されている状況だと伺っております。 そのような中、はらみ出し法、示力線法、円弧滑り法の三つの検討方法を用いて、診断を行ったわけですが、中でも円弧滑り法の計算につきましては先ほどもございましたように、安全率が 0.272 という結果が出ております。この安全率 0.272 という数値を考えますと、すでに石垣は原形を留めていない状況となります。 しかしながら天守台石垣の現状はしっかりと原形をとどめている状況でありますので、現実とかけ離れた結果が出ているものと考えられます。 これは石垣の計算上に表れない力、粘着力か摩擦力かそれが何なのかよく分かりませんが、そのようなものが作用しているのではないかとということで先生方からご教示をいただきながら、本石垣の現状や、はらみ出し法、示力線法の結果を鑑みまして、円弧滑り法上の耐震性をすでに有しているものと仮定し、地震時の安全率を 1.0、常時の安全率を 1.0、1.1、1.2、とそれぞれ設定いたしまして、逆解析により、この見かけの力を粘着力として、それぞれ算出いたしております。 この結果をどのように取り扱うのかというところで、苦心した次第でございます。いずれにいたしましても、石垣の耐震診断の検討に用いる円弧滑り方につきましては、もう少し全国的な動向も踏まえ、慎重に議論を行う必要があるものと考え、現段階では、耐震診断の検討項目として評価するのが難しいものではないかと考えております。 従いまして事務局といたしましては、丸亀城の天守台石垣に関しましては、円弧滑り方の検討内容、結果につきましては、参考とし、はらみ出し法および示力線法の、この二つの検討結果をもって、耐震性を有していると結論付けたいと考えております。 しかしながら、円弧滑り法につきましては、今までいろいろと議論をいただいて検討して参りましたことから、報告書等にきちんと掲載したいと考えております。 以上ご審議よろしく願いいたします。
議長	はい、説明ありがとうございました。

	それでは、天守と石垣と二つの説明がありましたが、まず天守の方について、天守に関する説明で何かご質問、ご意見等ありましたらお願いいたします。
委員	すいません最後の補強の金物図ですけど、これ a、b ってあるのが、特に上にどっか明記してあるわけではないのですよね。
文建協	a、b というのは図 14 のやつでしょうか。
委員	はい。
文建協	これは、矢視図を示していきまして、平面図、柱と貫の平面みたいな形で書いてあって、その上に断面みたいな形で書いてありますけど、その断面の中に a、b という形で、矢視図の a、b なので、上の軸組図には書いてないけど軸組図の丸印を付けている所の接合部にこういったコーナー金物等の接合部の補強が必要ということを考えているということです。
委員	この a は何をくっつけているのですかね。
文建協	これは平プレートですね。
委員	この貫は継手がある箇所ですか。
文建協	継ぎ手がある場合は、こういった形で、平プレートもしくはここでコーナー金物ができんだったらコーナー金物でもいいんですけども、こういった平プレートで止めるという一つの方法もあるということを考えています。 ただこれ実際、もう少し実際の実施設計の中で進めていくということを考えています。
委員	分かりました。だから端部は多分この L で、継ぎ手のところの平プレートですか。
文建協	はい。
委員	大丈夫です。ありがとうございました。
議長	継ぎ手が分からないからですね。
文建協	そうです。
議長	略鎌等の継手がちゃんとあれば、また違うことも考えられそうですね。

文建協	はい。
議長	例として、この a と b の 2 種類を考えたっていいことですね。だから実施にあたってはまたこれからだということですね。
文建協	そうですね。
議長	ちょっとしたミスだと思うんですけど、これは、図の誤りだと思うんですけど、4 ページの北立面図、東立面図って書いてあるものの、なんか高さ方向の縮尺が違うんですけど。たぶん全体の縮尺が違うんじゃないかと、レイアウトする時になんか変になったということですか。
文建協	そうです。すいません、ちょっと扁平になってしまったかもしれません。
議長	これは、正しい図に直しておいた方が良いでしょう。
文建協	そうですね、はいすいません。
議長	他にはいかがでしょうか。はい、玉井調査官、お願いいたします。
文化庁	補強の位置は丸が付いている箇所で確定しているのですか。
文建協	そうですね、今この横架材のところに引き抜きが生じているので、この部分は、こういったところが補強するということになります。 ただ、もうちょっとその応力解析の細かい数字っていうのは実施設計の中で、再確認してですね、応力が生じていてもその変形が柱よりも内側で収まっているですとか、そういう細かいことが確認できれば、この全端部を止めるっていうことはせずに、必要なところだけを金物で補強するということを考えております。
文化庁	その考えで問題ないということですか。
文建協	そうですね、はい。
議長	接合部というか、柱に対して貫を通して貫が、ここが継手になっているところとなっていないところがありますよね。 継手になっていないところは、その中で少々動いてもいいということで、それが確認できれば、このマルが減ると考えているわけですね。

文建協	そうですね、実際、通し貫になっている部材のちょっと表面とかを見るだけになるかと思うんですけど、解体はしないので、そこはちょっと修理とも協力して、通し貫になっているところは止めなくていいという形でやりたいかと思っています。
議長	よろしいでしょうか。
文化庁	はい。分かりました。
議長	他にはいかがでしょうか。 なければ、この次に石垣の説明について、ご質問、ご意見等ありましたらお願いいたします。
委員	まず、最初に1ページですけども、ちょっと小さなところなんですけど図面ですね、これ何かの図面がこうなったんですよね。このはらみ出し指数の図ですけど、最大はらみ出し高さになっていて、今度、縦方向の方がはらみ出し高さですね、同じ高さになっているんですね。
八千代	すいません。確かに幅は幅ですから…。
委員	後ろの文章を見ると横の方が最大はらみ出し量となっていて、その方が分かりやすい。
八千代	はい、修正いたします。ありがとうございます。
委員	それから、あと示力線の方で、グリーンの線がありますね。赤は反力の作用位置で、示力線の結果ですね、グリーンの線がありますよね。
八千代	はい。
委員	これは何なんでしょうか、ちょっと分からなかったもので。
八千代	幅の割合ということで、築石の幅の半分、3分の1を、常時の場合は半分の結んだ線、地震時は3分の1を結んだ線ということになっていまして、許容値っていうことで、仮に設定しているラインになっています。 ただ設計でもないですし、実際、赤のラインが法面を越えなければ、転倒しないということになるかと思うので、最終的には赤のラインが法面のラインよりも前に、石垣の面で前面ラインですね、前面よりも、背面側にいるかいなかで、安定しているか、していないかというのは判断していますので、一応、緑は参考として書いていますが、超えてもアウトということにはしていません。

委員	常時で真ん中、地震時で3分の1。
八千代	ちょっと、そこもどうするかってのもあるので、3分の1と2分の1っていうのもあるかと思いますが、ちょっとすいません、そこは議論があらうかと思いますが、仮の値ということでちょっと入れています。
委員	地震時だろうが常時であろうが、基準は一緒ですからね。どっちがいいでしょう、3分の1なんですけど。
八千代	そうですね、地震時の方がちょっと許容値を大きくしているようなイメージで緑のラインは地震時の方が少し石垣の面側に出すような形で設定はしています。
委員	ちょっとよく分からない。赤い線だけ見れば良い。
八千代	そうですね、赤の線と石垣の面を比べていただけたらと思います。
議長	あの、今の説明の緑の線について、どこかにその定義のようなことが書かれているのですか。
八千代	はい。ちゃんと追記するようにします。
議長	ちゃんと書いていただかないと分からないですね。 他にはいかがでしょうか。
委員	示力線法のところで、概要版の資料2-1の7ページ目の下の方に、示力線法の解析結果がありますけど、聞いたかもしれませんが築石の長さが短くなったところで、その次が、示力線の応力の作用位置が、内側に入っている。 築石が短くなるということは、示力線、イメージ的には合力は法面側に移動するのかなと理解をするのですが、内側に入っているより、築石が短くなることで、より安定側になっているということはどういうふうに理解してよろしいのでしょうか。
八千代	ちょっとこれも細かいところではあるんですけども、短い築石の下面から、試行くさびで土圧を出していく時に、上側の長い築石に試行くさびの土圧の滑り線が引っかかったらですね、それよりも上に立てないっていう設定をしまして、そうすると、ちょっと引っ込んである所にはですね、その最大、何もない時よりも小さな土圧になっている場合があります、要は上の長い築石で滑り線が立たない、引っかかる場合もそれでやめてしまいますんで、少し小さな土圧がかかってくる。資料編のですね45ページの左下に、そういったことが書いています、左下の4)のところですけども、赤いハッチしている築石に作用する土圧を出す時

	に、上の長い築石の角が引っかかる場合は、それよりも最大角、滑り面を立てないっていうことを設定してしまして、それで短い築石に作用する土圧が小さくなる場合があつて、土圧が小さいと安定して、赤いラインが法面内側に入っているっていうようなことが起きているっていうことであります。
委員	現状だと、築石が短くなるとより安定側になっているということで、ちょっと判断とすると、間違った判断、ミスジャッジになってしまうと思うので、そうすると、もう計算できないっていう時にこのプロットをつけないとか破線で点なしとして、上と下を赤線で結ぶとかっていう表現の方が、誤解はないのかなと思いますのでご検討願います。
八千代	はい、ありがとうございます。ちょっと誤解のないような表現に直したいと思います。
議長	ありがとうございます。他にはいかがでしょうか。
委員	かなり重点的に説明いただいた円弧滑りの所ですが、質問というわけではなくて、丸亀城の裏側の方でかなり大規模な崩壊起こしているということがどうしても気になったということもあって、円弧滑りの方を少し、今回、いろいろ検討していただいたというところなんですね。 従来の石垣に円弧滑りを適用するとどうしても不安定側に出ると。 この結果にありましたように、安全率が 0.2 だとか、もうとんでもない値になってしまうというのはもう一般的にそういう結果になることが多いということで、多分、熊本の方でも円弧滑りについてはちょっとペンディングにしましようということになっているかと思います。 ただ、ここは先程も申しましたように、どうしても大崩壊のイメージが、ぬぐい去れないということで、やはり円弧滑りはやった方がいいのではということになりました。 いろいろ非常に細かい検討していただいたと思います。結果的にこの取り扱いというのは、難しいところもあるかと思うんですけども、私の個人的な考えとしては、たかだか石垣の部分に、60 k Nですか小さい場合 60 で、大きくても 100 k N、いわゆる 1 k g / c m² ですよ。それぐらいの粘着力を見てあれば、結構改善してしまうという。 これは逆に言いますと、私自身としては、この程度で計算上です、安全率が 1.0 になっちゃうのかというところがあります。 その辺はその石垣が持っている、安全率は切るんだけどやっぱり立っているじゃないかと。何百年も立っているじゃないかと。 その辺の何らかの石垣の、これ、伝統的な技能によるものなのかどうか。 この辺はちょっとまだ明確ではありませんけども何かそういう石垣の持っている耐力っていうのがあるとすれば、たかだか C（粘着力）にすると、1 k g / c m²、100 k N / m² ぐらいの値であるということがちょっとこう、こういう結果が示されたということで、これは今後、もしできましたらいろんな所でちょっとチェックしていただきましたら、いわゆる石垣が持

委員	つ隠された耐力っていうのを今後検討していく上で非常に重要な結果であったんではないかなと個人的には思っています。ただ現段階におきましては、この結果を最重要視するという段階ではないというふうには思いますけれども、この結果を見た感想だと。私の感想は以上です。 先程委員が言われた、正にその通りだと思います。 滑り面をどこに設定するかっていうことに関しても、今回は栗を通してまた石垣面を通る滑り面にするという事で考えていただいたかと思います。 熊本城での石垣の崩壊事例、白河小峰や仙台城での石垣の地震時での崩壊事例と、やはり栗の中を滑り面が通っているということから考えても地震時の石垣の崩壊挙動というのは、今回、滑り面を栗の中を通るということで反映していただいて、実際合わせていただいているということで、ここが評価できるところかなというふうに思っております。 ただ、粘着力Cを与えるかどうかということに関して、築石に粘着力Cを与えるのが個別の要素として見ると力学的な、土質力学的な検討は必要かと思いますが、石垣構造体としてを見とした場合には、この程度の粘着力Cを与えることは、妥当なんじゃないのかと思います。 伝統的な積み方で積まれた石垣は介石があったり、間詰があったりということで、現状で数字に載ってこないような対策をされている、工夫がされているということを経験している、石垣構造体として見た場合に、この程度の粘着力Cを与えるということは、無理がないのかなというふうに理解をしております。感想です。
議長	はい、ありがとうございます。 他にはいかがでしょうか。玉井調査官いかがでしょうか、石垣の方は。
文化庁	石垣の方は大丈夫です。
議長	はい、ありがとうございます。 よろしいでしょうか。 それでは、天守については、貫とか横架材と柱の接合部分で、引き抜きの恐れがある。 そこを金物等を使って補強すれば、十分耐震性度はあるということで、その補強の実施にあたっては、今度、実際の天守の修理工事に合わせて、詳細を検討していくと、実施方法を検討していく。 そして今度、石垣については、三つの方法で診断した結果、一応耐震性を有していると。 そういう結果で、少し今日の資料で加筆なり修正していただくところはあるんですけども全体的な耐震性に関する今回の検討委員会の評価というものは、これで問題ないと見てよろしいでしょうか。
文化庁	少し戻ってしまうんですけど、天守の方、よろしいでしょうか。

議長	はい、どうぞ。
文化庁	虹梁の端部の引き抜きが生じるのですか。
文建協	はい、すいません。梁の端部の所、ちょっと先程、説明しそびれましたけども、実際は込栓で抜いていたりとかする箇所もあるので、そこについては、その耐力と比較してですね、必要がなければ分かるものは必要ないという形で対応しようかなというふうに考えております。 貫のこの継手に関しては、今現状ですとそこまで全部調査しきれていないので、それは実施設計の段階で、先程ちょっと申しましたけども、修理とも協力して、今回、全解体とかではないので、貫の木部の表面を見ながらですね、ここは継いでいるだろうとか、そういった所が分かれば、それはわざわざ補強しないということで考えております。
文化庁	はい、分かりました。
議長	もう一度確認しますけど、この 7 ページの資料には、補強する可能性がある、引き抜きを受ける可能性のある所を全て書いてだけで、実際には貫が通し貫になっているとか、梁の端部にしても、これだと抜ける、抜けてしまう心配はないだろうとか、そういうことが確認されれば、これが減っていくと。 その確認は今回の調査では限界があって、それはそこまで正確にできなかった。今度修理の時に、土壁等も落としながら、貫については部材が通っているか、ここで継いでいるか、その辺を正確に確認して、必要な所に恐らく金物を使った補強をしていくことになるということ、全ての端部ということではないということですね。それは必要最小限のことを行うということですね。
文化庁	特にこの梁のおしりが抜けるかどうかというのは今回の検討の中で行うのでは。
文建協	そうですね現地調査というか、やっておりますけれども、もう一度その、もしかしたら緩みが出ているとか、時間がちょっと経っていますので、その辺は実施設計の中でもう一度再調査をして、厳密に端部を補強するかしないかっていうのを判断していきたいなというふうに考えております。
文化庁	はい、分かりました。私からは以上です。
議長	ありがとうございます。 それでは、おそらく今日が最後のこの検討委員会になると思うんですが、これまで 2 年間に渡って実施してきた内容で、求めていた成果が確認できて、天守についても大々的な耐震補強が必要なく部分的な補強で済む。石垣についても、まず耐震性を有していると判断したって

	いうことでこの委員会を閉じると、そういうことでいいですね。 【了承】
議長	はい、分かりました。 それではその他についてお願いいたします。
事務局	はい。事務局の方からお話をさせていただきます。 丸亀城天守耐震診断について長らくご審議をいただきまして誠にありがとうございました。 今日の審議では、天守の方に関しましては、貫の補強金具ということで、今回の調査では解体をしていないということになりますので、実際今後の修理の実施設計の時にきちっと詰めていくということで、ご了承いただきまして、また、天守の方も、用語、縮尺の訂正、また示力線に関しましては、緑のラインの定義とか、滑り角の土圧についての説明とかというのは、先程、委員の先生方からございましたので、訂正をさせていただければと思っております。 先程、委員長の方からありましたような形で、建物の方に関しましては、一部柱や貫の補強につきましては、本業務の中で方向性を示しているということで報告し、報告書に記載をさせていただきます。 また、天守台石垣につきましては、耐震性を今のところ有していると、大きな対策工事は現段階では不要ということで認識をしておりますのでよろしくをお願いいたします。 また今後、天守の改修事業を予定しておりますので新たにその時に、部会等を立ち上げて検討して参りたいと考えております。 本専門部会につきましては、規約第 4 条に則り、委員の任期は委嘱日から丸亀城天守耐震対策業務が終了する日までとありますので、一応、本業務が完了する今年度末をもって終了させていただきたいと思っておりますので、最後となりますが、ご理解賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。
議長	はい、ありがとうございます。 それでは、今、事務局から説明がありましたように、今回のこの委員会が一旦終わるということで、最後に、今日の議題だけではなくても結構ですから最後に何かお話ししたいことがあれば、お願いしたいと思うんですが、いかがでしょうか。 よろしいですか。 県の方から何かありますか。
県	大丈夫です。
議長	はい、それでは、玉井調査官の方もよろしいですか。

文化庁	はい、大丈夫です。
議長	それでは今日の審議は以上となります。どうもありがとうございました。
事務局	それでは事務局の方から、委員の皆様方には、今まで色々ご審議いただきまして、本当にありがとうございました。 また麓先生におかれましては、部会長を務めていただき、誠に感謝しております。 今後におきましても丸亀城天守ならびに天守台石垣のみならず、引き続き史跡丸亀場跡全体の適切な保存活用に努め、将来へつないで参りたいと考えておりますので、今後ともご指導の程、よろしくお願い申し上げます。 なお、この天守耐震対策専門部会での検討ならびに結果につきましては、この年度末に開催される予定としております、令和４年度第３回丸亀市史跡丸亀城跡調査整備委員会にてご報告をさせていただきますので、よろしくお願いいたします。 本日は誠にありがとうございました。 【閉会】