本庁舎の基礎杭及び地下連続壁の効果等に関する
耐震性能の検証業務

報告書

2020年9月

株式会社 山下設計

本庁舎の基礎杭及び地下連続壁の効果等に関する耐震性能の検証業務
報告書

目次

§1　検証概要

1.1 目的 P1-1

1.2 検証項目 P1-1

1.3 建物概要 P1-2

1.4 検討方法とクライテリア P1-3

§2　地盤調査結果及び地盤定数の設定

2.1 調査方法 P2-1

2.2 調査結果 P2-2

2.3 地盤定数の設定 P2-4

§3　地中連続壁の耐震性能評価

3.1 検討概要と地中連続壁の概要 P3-1

3.2 地中連続壁間継手について P3-3

3.3 地盤変位に対する地中連続壁の検討結果 P3-6

§4　地震時の杭・建物と地盤の動的相互作用を考慮した時刻歴応答解析

4.1 解析モデル概要 P4-1

4.2 各種パラメータの設定 P4-6

4.3 自由地盤の応答解析結果 P4-20

4.4 動的相互作用を考慮した時刻歴応答解析結果 P4-22

§5　動的相互作用を考慮した杭の耐震性安全性検証

5.1 検討概要 P5-1

5.2 検証用変位及び時刻の選定 P5-2

5.3 杭の変位増分解析 P5-7

5.4 杭の検証結果 P5-14

§6　まとめ P6-1

参考文献

§1　検証概要

1. 検証概要

1.1. 目的

本庁舎が現行の建築基準法が定める耐震性能を有しておらず耐震改修が困難であるという「平成 29 年度本庁舎整備計画作成業務委託」（以下、H29 年度耐震安全検証と称す）の調査結果に対する「庁舎整備に関する特別委員会」に招致された参考人（以下、参考人と称す）の意見を踏まえ、基礎杭の密集効果や地下連続壁の効果に関して定量的な算出を試みることで、あらためて耐震性能を検証することを目的とする。

1.2. 検証項目

(1) 告示波作成における、基礎杭の密集配置や地下連続壁による表層地盤による地震動の増幅に対する低減効果の定量的な算定

(2) 地下連続壁による杭に作用する力の低減効果①
地下連続壁が変形しないことで、杭に作用する地盤の変形による力に対する低減効果の定量的な算定

(3) 地下連続壁による杭に作用する力の低減効果②
地下連続壁が地震力の一部を負担することで、杭が負担する地震力に対する低減効果の定量的な算定

(4) その他の定量的な算定
地下連続壁の内側で PS 検層を行い杭と連続壁の効果を直接計測し、告示波を用いて時刻歴応答解析を行う。

(5) 基礎杭の耐震性能の評価
（1）（2）（3）（4）の結果に基づき、基礎杭の耐震性能の有無について評価する。

1.3. 建物概要

表 1-1 建物概要

		備考
所在地	熊本市中央区手取本町1番1号	
用途地域	商業地域	
防火地域	防火地域	
建蔽率	80%	
容積率	600%	
敷地面積	10,377㎡	計画通知資料より
用途	庁舎	計画通知資料より
高さ	64.1m	計画通知資料より
階数	行政棟　地下2階　地上15階　塔屋2階	計画通知資料より
	議会棟　地上6階　地下なし	
建築面積	5583.54㎡	計画通知資料より
延べ面積	39,686.57㎡	計画通知資料より
構造	行政棟　S造一部SRC造及びRC造	
	議会棟　SRC造一部S造	
基礎	場所打ちコンクリート杭（ベノト工法）	
竣工	昭和56年10月30日	

市役所全景（熊本市ホームページより）

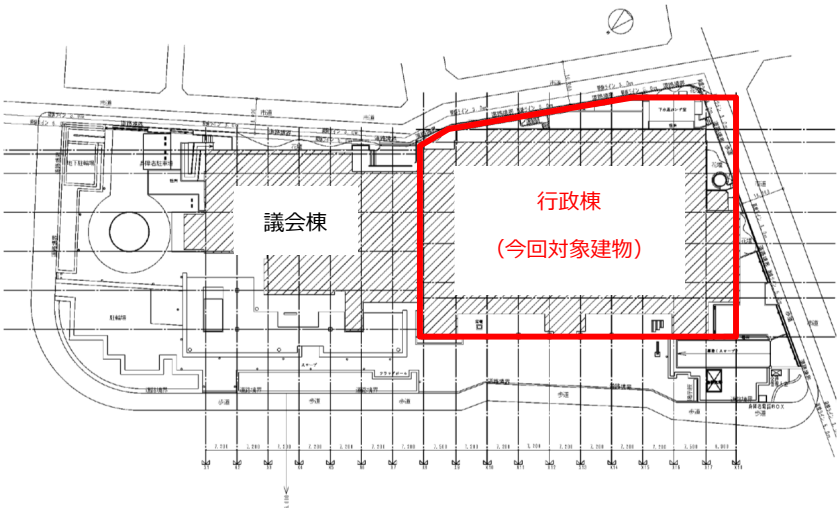


図 1-1 配置図

1.4. 検討方法とクライテリア

検討項目と内容を以下に示す。

（１） 地中連続壁による地震力の低減効果の検討

地中連続壁に L2 地震時地盤変位を作用させ、発生応力と耐力を比較し、地中連続壁の安全性を確認する。

検討により、地中連続壁の安全性が確認されれば、地中連続壁による地震力の低減効果が期待できるため、次項以降の検討にその影響を考慮する。

（２） 地震時の杭・建物と地盤の動的相互作用を考慮した時刻歴応答解析

杭基礎と建物の地上・地下を一体としてモデル化し、地盤変位による応力と建物の地上・地下の慣性力による応力を時刻歴で評価する。図 1-2 に連成系モデルの概念図を示す。本検討では、H29 年度耐震安全性検証において層間変形角の目標値を超えていた、レベル２告示波を検討用地震動とする。

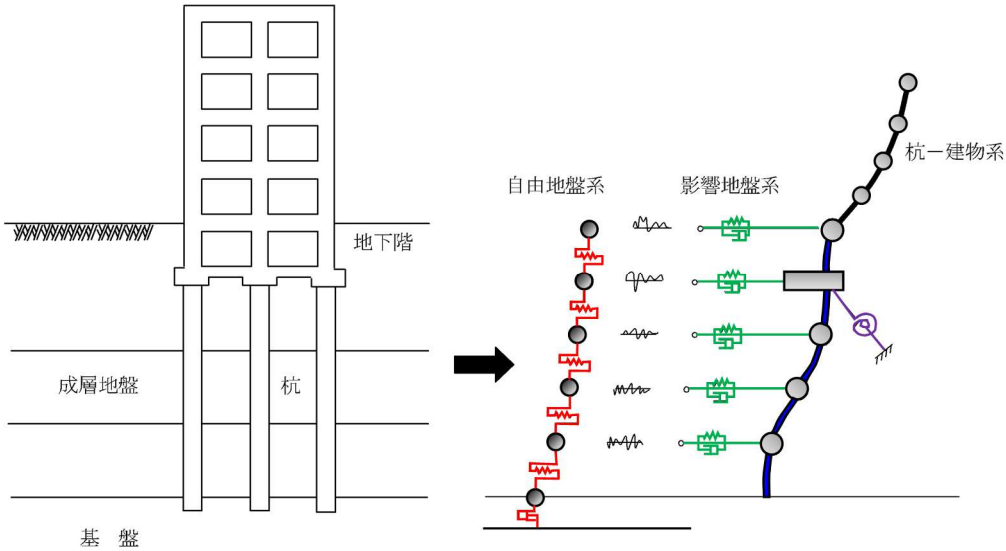


図 1-2 連成系モデルの概念図

本検討では大地震時を想定し、レベル 2 地震動に対する設計クライテリアについて表 1-2 に示す。なお、解析モデルは竣工図を基に作成する（劣化・損傷の影響は考慮しない）。

表 1-2 設計クライテリア

項目		目標値
上部構造	層間変形角	1/100以下※1
杭	破壊形式	鉛直力支持能力を失わない※2

※1：H29年度耐震安全検証を基に設定
※2：杭の「せん断破壊」、「軸圧縮破壊」、「杭頭及び杭中間部の2点以上での曲げ降伏」が生じない。参考文献7）を基に設定

§2　地盤調査結果及び地盤定数の設定

2. 地盤調査結果及び地盤定数の設定

2.1. 調査方法

行政棟位置での地盤の特性を調査するために、行政棟の近傍 1 箇所にて地盤調査を実施した。今回調査の位置を図 2-1 に示す。

調査内容は下記の通りである。

（1）ボーリング調査：延べ深度　26.0m

油圧式ロータリーボーリング機械を使用し、標準貫入試験を併用しながら外径 φ86mm のノンコアボーリングを実施した。

（2）標準貫入試験　：計 21 回

深度 1m 毎に試験を行い、貫入量が 30cm となる総打撃回数 N 値を測定する。N 値の最大値は 60 とする。試験方法は JIS A 1219 に基づき実施する。

（3）弾性波速度検層（PS 検層）：21m

ボーリング孔 No.R01 において実施した。PS 検層は地盤内を伝播する弾性波（P 波、S 波）速度の深さ方向の分布を測定する。

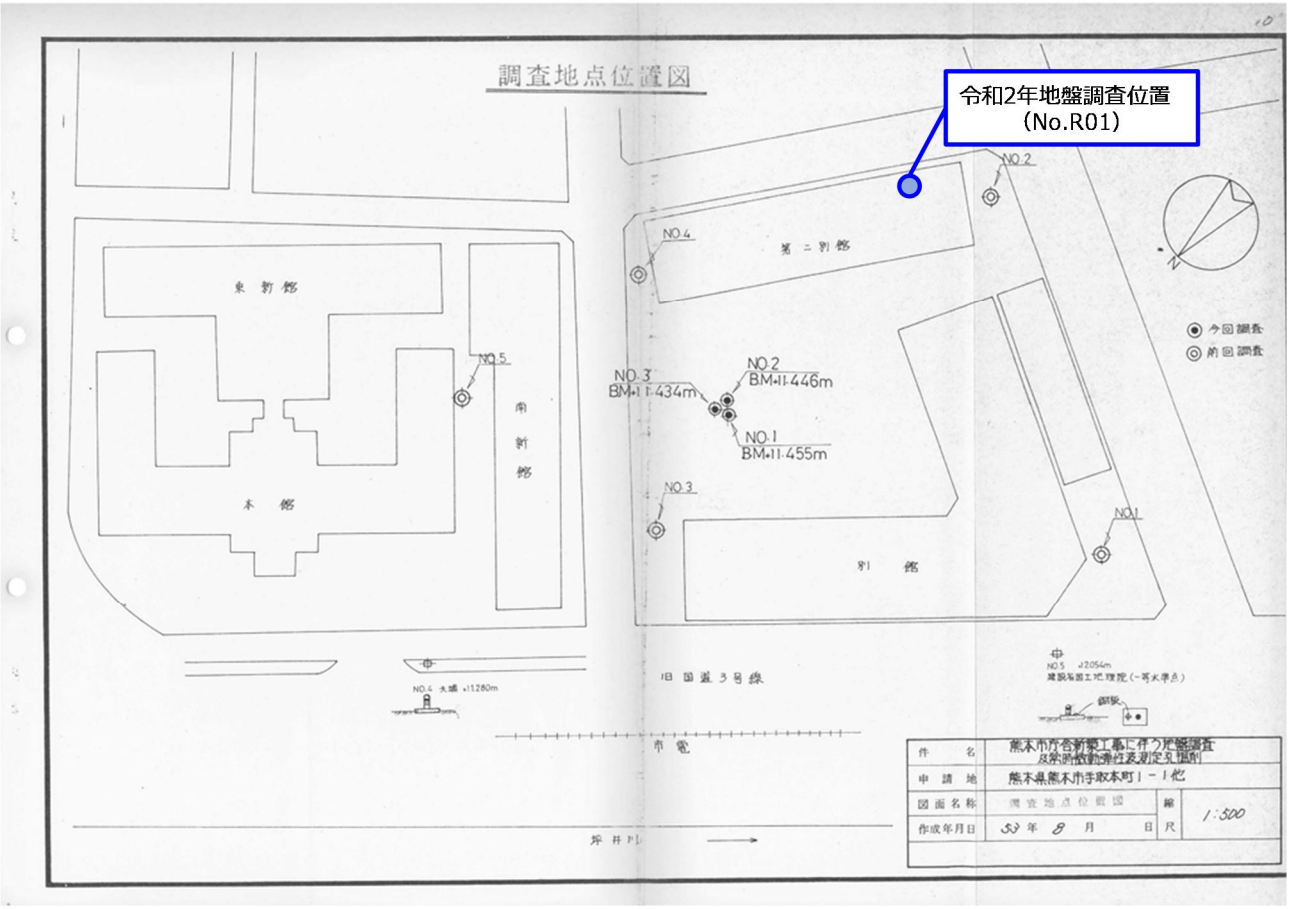
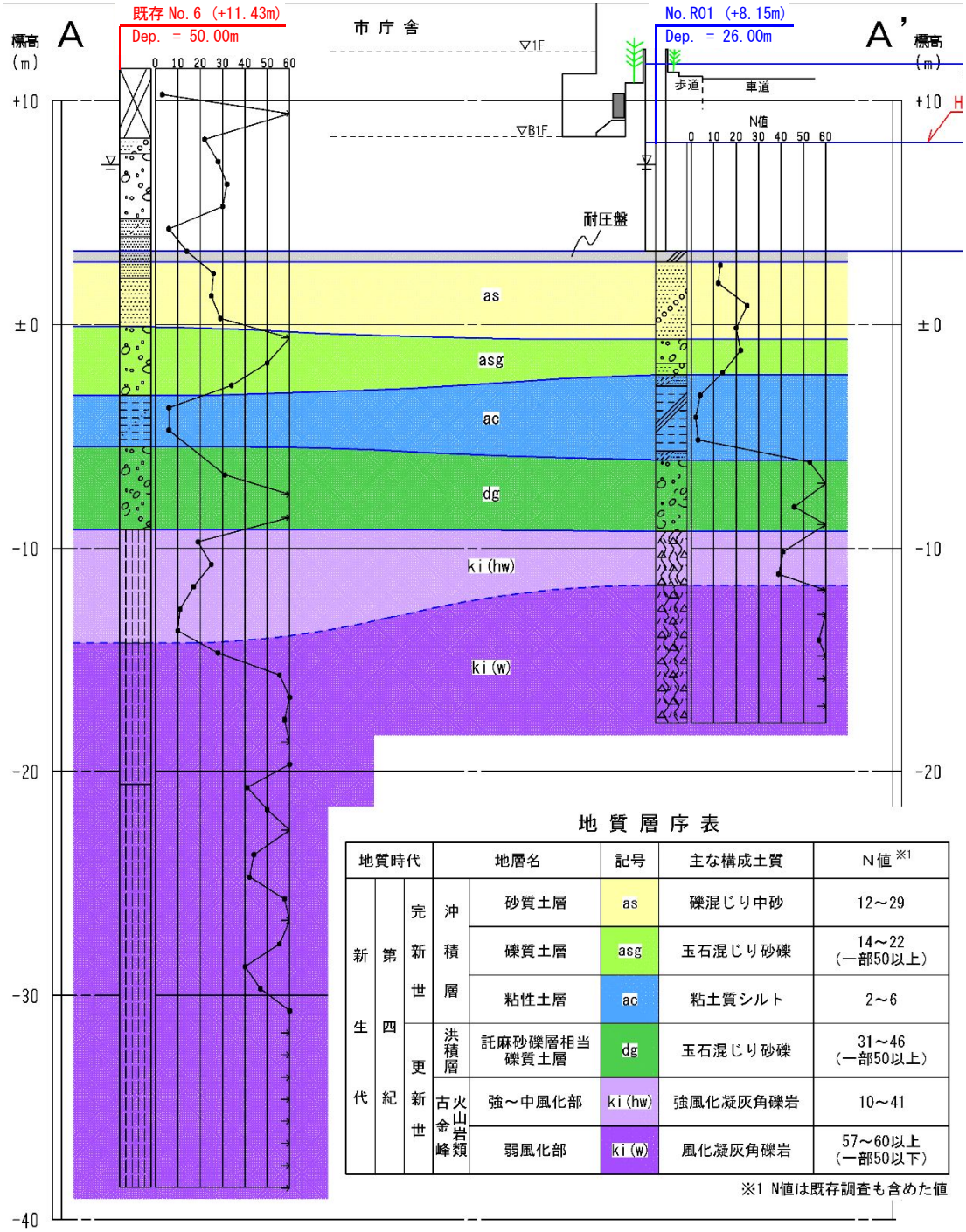


図 2-1　地盤調査位置図

2.2. 調査結果

2.2.1. 地盤構成及びＮ値

調査地の地盤構成を総括すると、深度 20m 付近から分布する第四世紀更新世の小金峰輩山岩類を実質的な基盤として、その上位に第四世紀更新世～完新世の未固結堆積物（洪積層・沖積層）が分布する。調査結果を図 2-2 に示す。図 2-2 には、昭和 53 年に行った既存 No.6 の結果も共に示す。



地 質 層 序 表

地質時代				地層名	記号	主な構成土質	N値 ※1
新生代	第四紀	完新世	沖積層	砂質土層	as	礫混じり中砂	12～29
				礫質土層	asg	玉石混じり砂礫	14～22（一部50以上）
				粘性土層	ac	粘土質シルト	2～6
		更新世	洪積層	託麻砂礫層相当礫質土層	dg	玉石混じり砂礫	31～46（一部50以上）
			古金峰火山岩類	強～中風化部	ki (hw)	強風化凝灰角礫岩	10～41
				弱風化部	ki (w)	風化凝灰角礫岩	57～60以上（一部50以下）

※1 N値は既存調査も含めた値

図 2-2 ボーリング柱状図及び地層構成表

2.2.2. PS 検層結果

PS 検層結果を表 2-1 に示す。

表 2-1　PS 検層結果一覧表

深度 GL-(m)	湿潤密度 (g/cm^3)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	ﾎﾟｱｿﾝ比	剛性率 (kN/m^2)	ﾔﾝｸﾞ率 (kN/m^2)
5.35 ～ 8.80	1.80	1,520	200	0.491	72,000	214,700
8.80 ～ 10.40	2.00	1,700	270	0.487	145,800	433,600
10.40 ～ 10.90	1.70				123,900	368,600
10.90 ～ 13.80		1,590	160	0.495	43,500	130,100
13.80 ～ 14.20					232,700	688,800
14.20 ～ 17.40	2.00	1,880	370	0.480	273,800	810,400
17.40 ～ 19.80	1.90	1,990	360	0.483	246,200	730,400
19.80 ～ 25.00	2.00	2,070	490	0.470	480,200	1,412,000

2.3. 地盤定数の設定

2.3.1. 方針

今回の地盤調査結果及び既存の地盤調査結果を踏まえ、検討に使用する地盤モデルを設定する。

地盤調査位置図を図 2-3 に示す。本検討に用いる地盤構成及び N 値は、本庁舎直下に位置する昭和 53 年地盤調査のボーリング No.6 とする。地震動の伝わりやすさを示す Vs 値は、昭和 53 年、平成 29 年及び令和 2 年の地盤調査結果をもとに、それぞれの地盤に対応した値を使用する。

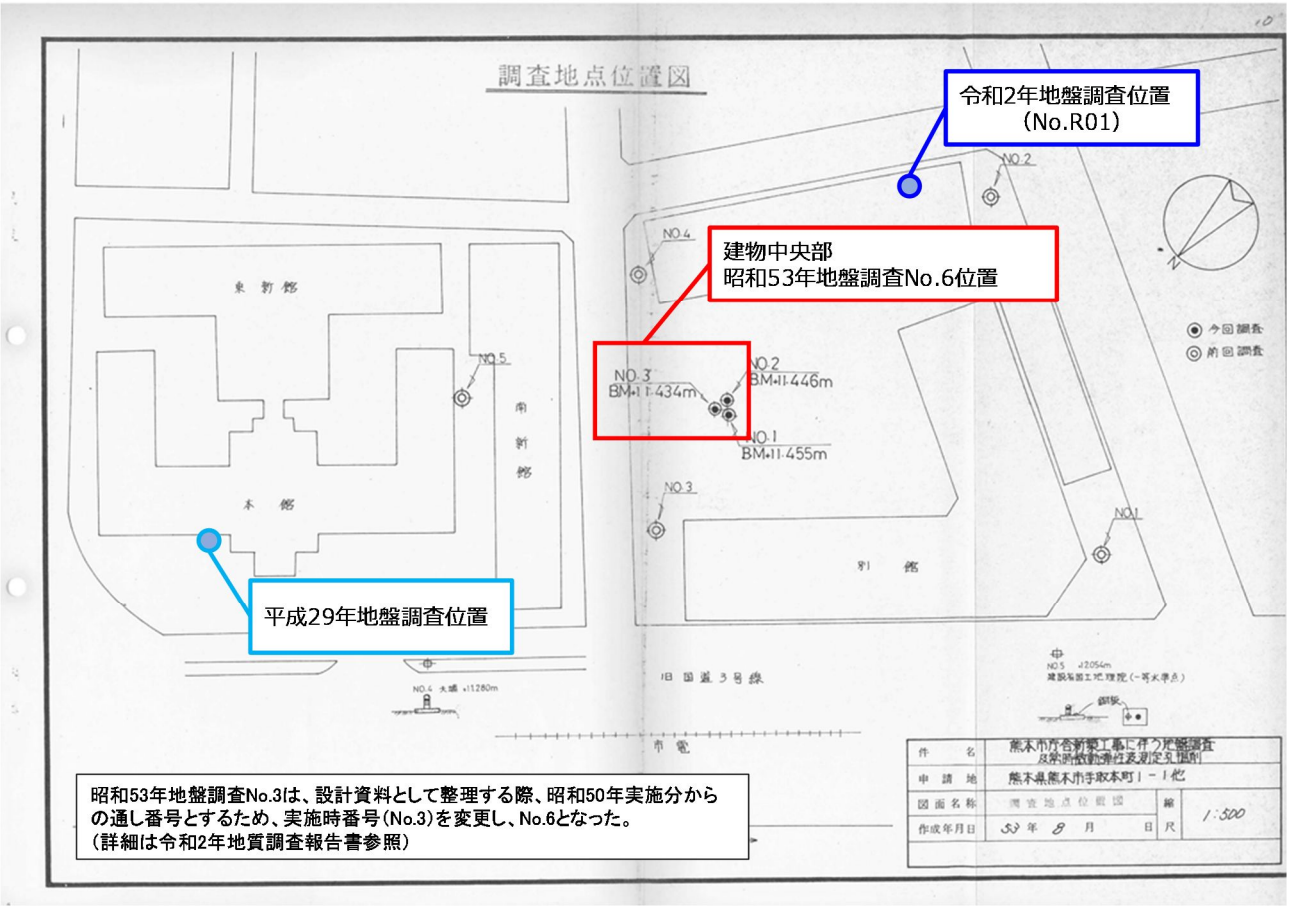


図 2-3 地盤調査位置図

(「熊本市庁舎新築工事に伴う敷地地盤の常時微動および弾性波速度調査 報告書 昭和 53 年 10 月」抜粋、加筆)

2.3.2. 地盤定数の設定

昭和 53 年の地盤構成及び採用した Vs 値と平成 29 年及び令和 2 年の Vs 値の比較を図 2-4～図 2-6 に示す。各土質の Vs は概ね令和 2 年の調査結果を用いるが、下記 2 点については、工学的な判断を行い、既存の調査結果の値を使用する。

① 深さ 20.6m～25.7m の粘土質砂礫は、平成 29 年、令和 2 年共に N 値 10～20 程度の砂礫層がないため、昭和 53 年の Vs 値を採用する。

② 深さ 25.7m～32.0m は昭和 53 年調査結果では、砂礫の記載であるが、N 値や出現する深さから平成 29 年及び令和 2 年調査結果の風化岩と同じ地盤であると判断した。

表 2-2 に地盤調査結果の一覧を示す。時刻歴応答解析に用いる地盤定数の採用した箇所を表中赤字で示す。

表 2-3 に時刻歴応答解析に用いる地盤定数を示す。以降の検討は表 2-3 の値を用いて検討を行う。

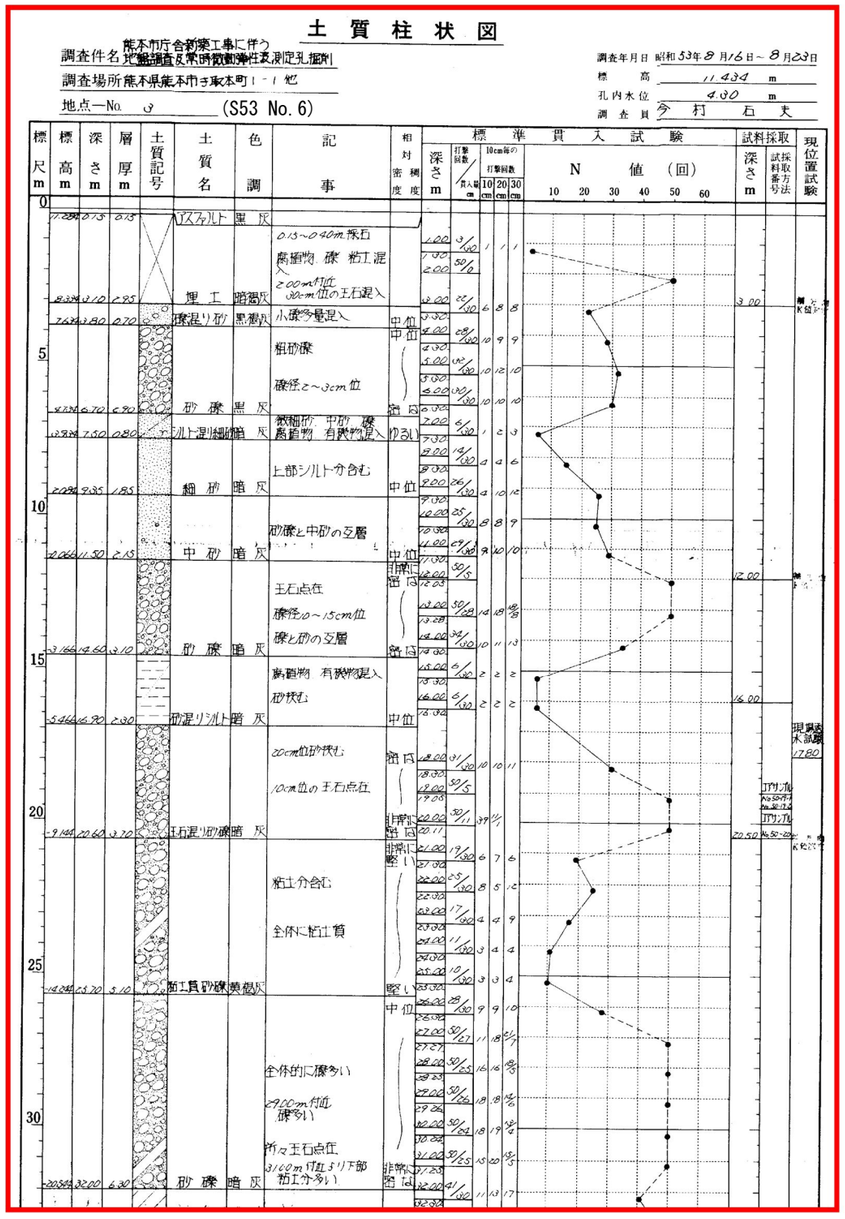
表 2-2 地盤調査結果一覧

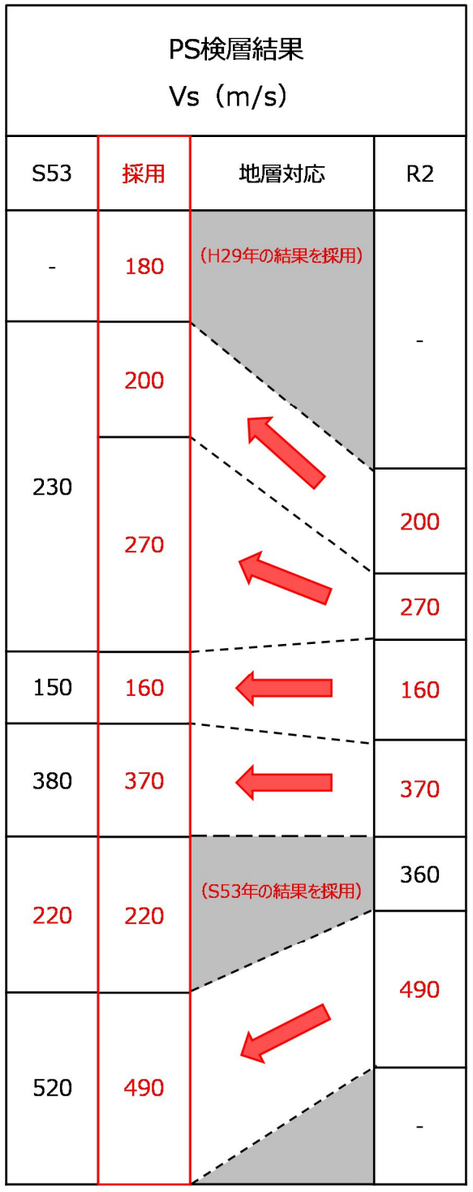
S53年												H29年		R2年	
深度	層厚	土質名称	N値						平均		Vs	Vs	土質名称	Vs	土質
(m)	(m)								N値		(m/s)	(m/s)		(m/s)	
0.00 ～ 3.10	3.1	埋土	3						3		230	180	埋土	-	
3.10 ～ 3.80	0.7	礫混じり砂	22						22		230	250	砂礫	200	礫混じり中砂
3.80 ～ 6.70	2.9	砂礫	28	32	30				30		230	250	砂礫	200	礫混じり中砂
6.70 ～ 7.50	0.8	シルト混り細砂	6						6		230	190	シルト	270	玉石混じり砂礫
7.50 ～ 9.35	1.9	細砂	14	26					20		230	280	砂礫	270	玉石混じり砂礫
9.35 ～ 11.50	2.2	中砂	25	29					27	28	230	280	中砂	270	礫混じり中砂
11.50 ～ 14.60	3.1	砂礫	50	50	34				45		230	280	中砂	270	シルト質細砂
14.60 ～ 16.90	2.3	砂混りシルト	6	6					6		150	150	粘土質シルト	160	粘土質シルト
16.90 ～ 20.60	3.7	玉石混り砂礫	31	50	50				44		380	370	玉石混じり砂礫	370	玉石混じり砂礫
20.60 ～ 25.70	5.1	粘土質砂礫	19	25	17	11	10		16		220	350	強風化岩	360	強風化岩
25.70 ～ 32.00	6.3	砂礫	28	50	50	50	50	50	46		520	520	風化岩	490	風化岩

赤字：検討用モデルに採用した数値

表 2-3 時刻歴応答解析に用いる地盤定数

検討用地盤構成					
深度	層厚	土質名称	平均	Vs	密度
(m)	(m)		N値	(m/s)	(g/cm^3)
0.00 ～ 3.10	3.1	埋土	3	180	1.84
3.10 ～ 3.80	0.7	礫混じり砂	22	200	1.84
3.80 ～ 6.70	2.9	砂礫	30	200	1.84
6.70 ～ 7.50	0.8	シルト混り細砂	6	200	1.84
7.50 ～ 9.35	1.9	細砂	20	270	1.84
9.35 ～ 11.50	2.2	中砂	27	270	1.84
11.50 ～ 14.60	3.1	砂礫	45	270	1.84
14.60 ～ 16.90	2.3	砂混りシルト	6	160	1.45
16.90 ～ 20.60	3.7	玉石混り砂礫	44	370	2.04
20.60 ～ 25.70	5.1	強風化岩	16	220	1.94
25.70 ～ 32.00	6.3	風化岩	46	490	2.14





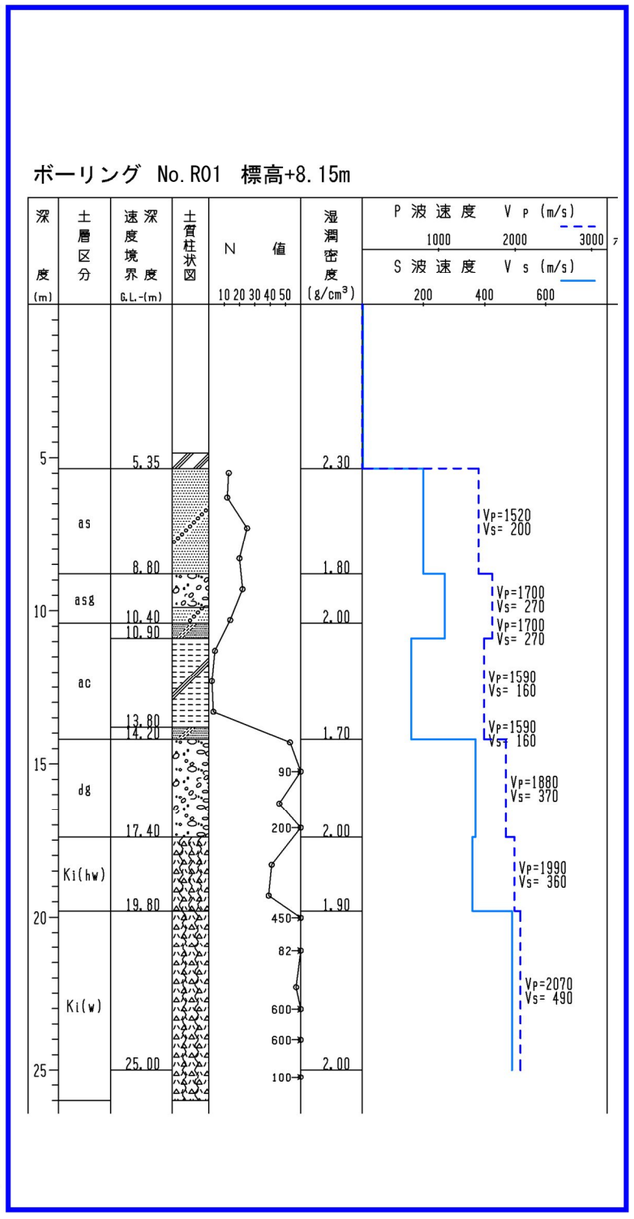
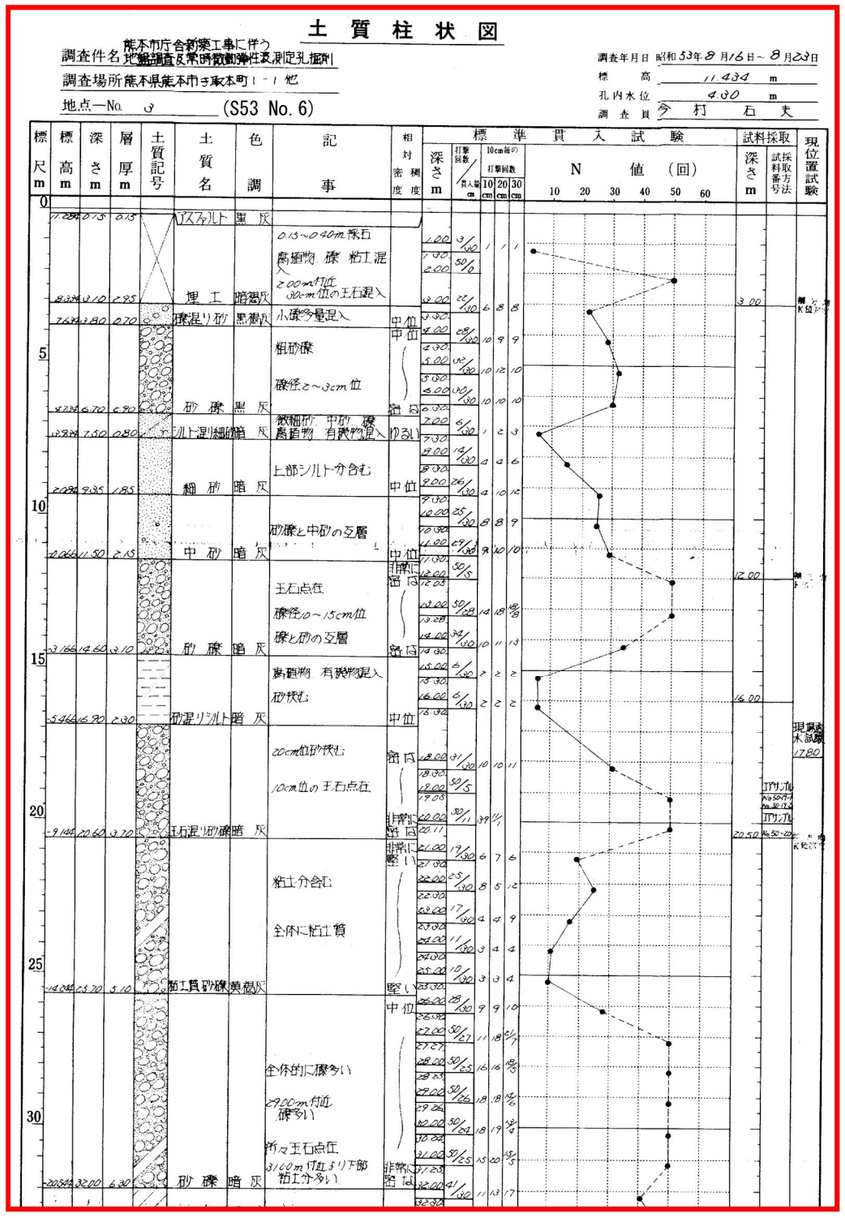


図 2-4 地盤構成と Vs 比較（左：昭和 53 年、右：令和 2 年、赤字：採用値）



PS検層結果

Vs（m/s）

S53	採用	地層対応	H29
-	180		180
230	200		250
			190
	270		280
150	160		150
			190
380	370		370
220	220		350
520	490		520

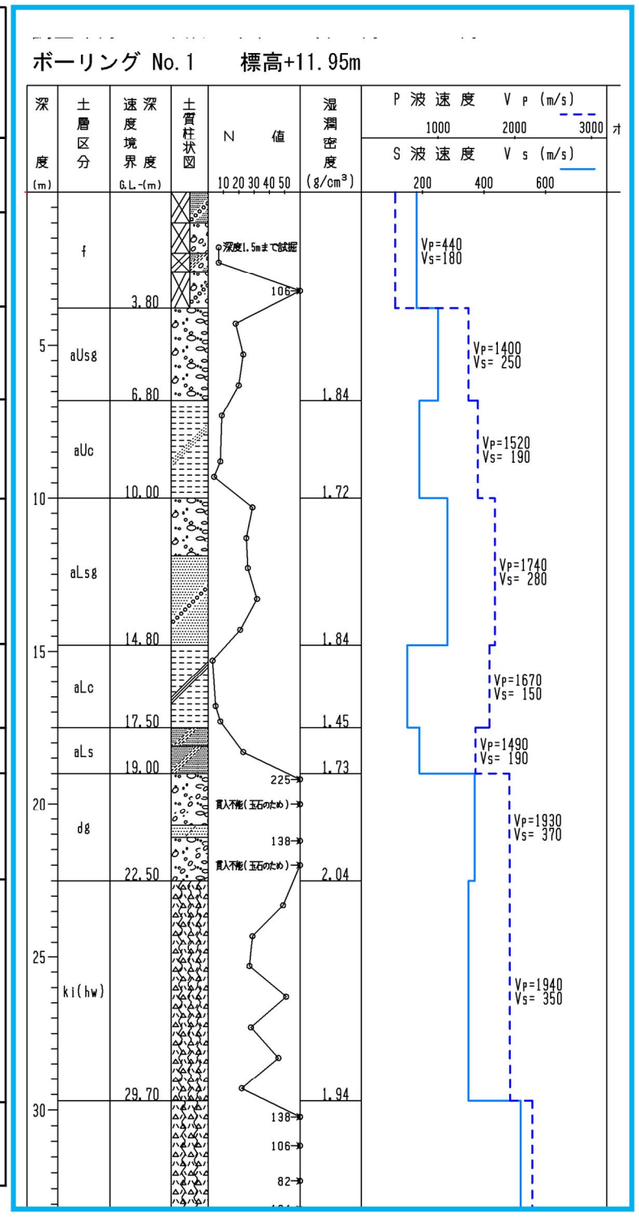


図 2-5　地盤構成と Vs 比較（左：昭和 53 年、右：平成 29 年、赤字：採用値）

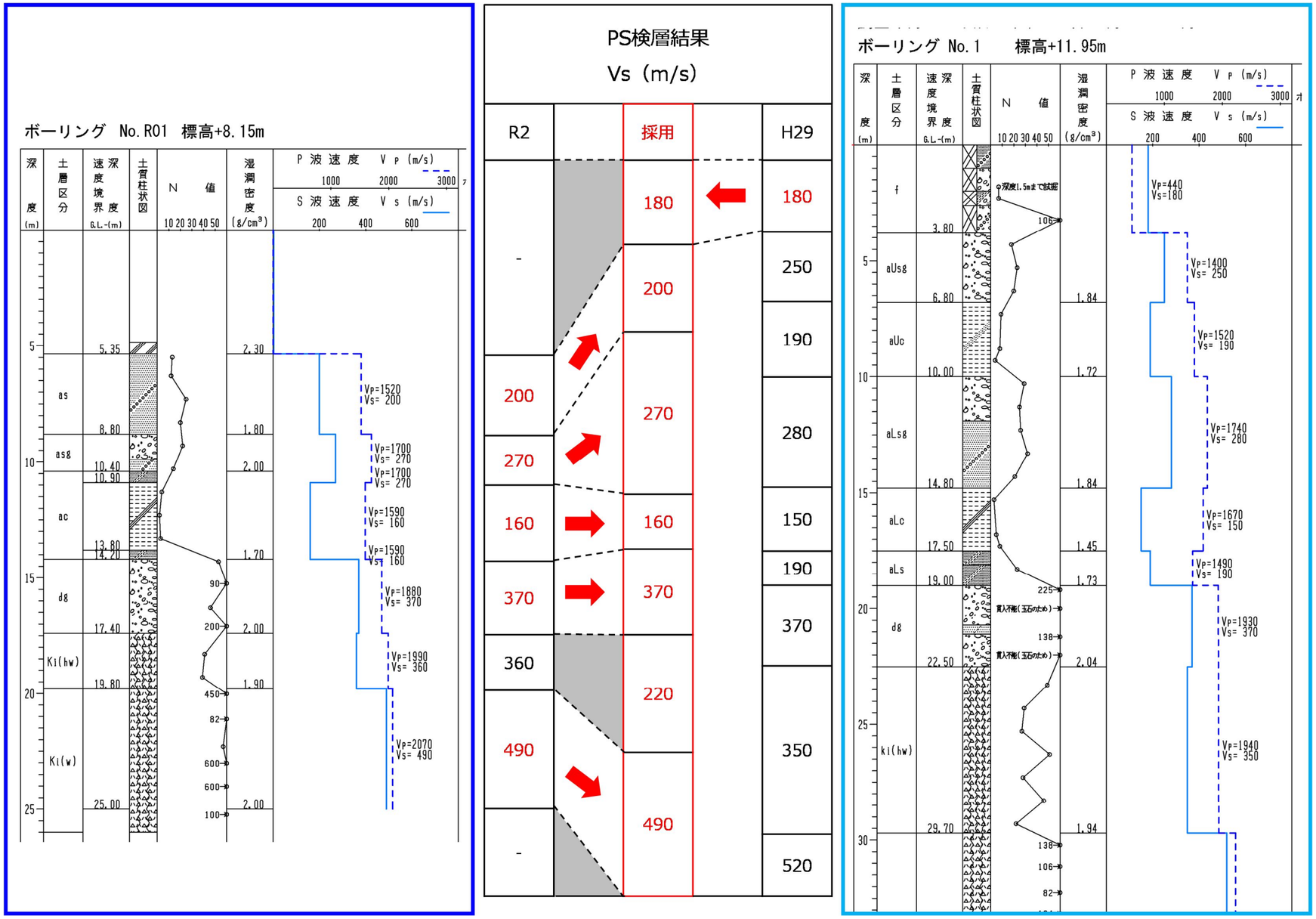


図 2-6 地盤構成と Vs 比較（左：令和 2 年、右：平成 29 年、赤字：採用値）