

1.7 パイプラインのウィークポイントにおける耐震対策検討

1.7.1 ウィークポイントの耐震性能照査と対策に関する区分

(1) 耐震対策方針の区分

パイプラインの耐震性能照査と対策に関しては、耐震性能照査を実施して対策の要否を判断する場合と、耐震性能照査を実施せずに事前対策または事後対策をする場合に区分し、対策検討施設と耐震対策の考え方を整理した。(表1.7.1参照)

管体の耐震性能照査は、管種、管径、微地形区分などに着目してグルーピングを行い、各グループから最も応答変位が大きくなると想定される断面を代表断面として選定し（微地形区分から後背湿地や谷底低地に該当するところを中心に選定）、選定した代表断面において、横断面、縦断面ともに応答変位法により耐震性能照査を行った。(1.6 パイプラインの耐震性能照査参照)

ただし、上記の方法では、ウィークポイントと考えられる箇所（地盤の変化や縦断線形、構造の変化などを確認する必要がある箇所）が選定されていないことから、別途、ウィークポイントと考えられる箇所を抽出し、対策の必要性を検討した。

ウィークポイントと考えられる曲管部や異形管部は、液状化による背面地盤の剛性低下・強度低下、基礎材のゆるみ、地震作用による土圧等の増加、縦断方向の地形、地質の変化等の要因により被災すると考えられる。これら諸条件を考慮したうえで全線を対象にして耐震性能照査をすることは困難であるため、表1.7.2に示すような軟弱地盤や液状化が想定される箇所、構造の変化点等で事前対策を検討する。

表 1.7. 1 代表断面における管路の区分(ウィークポイント以外)

管路区分	横断面 (液状化無)	横断面 (液状化有)	縦断面 (ウィークポイント以外)
耐震性能 照査手法	・選定断面で応答変位法	・選定断面で応答変位法 (液状化による地盤定数の低減を考慮) ・浮上判定	・選定断面で応答変位法 (水道指針の簡易式)
対策検討 施設	・照査の結果、対策不要 (SP管、DCIP管、PC管)	・照査の結果、対策不要 (SP管、DCIP管、PC管)	・照査の結果、対策不要 (SP管、DCIP管、PC管)
耐震対策 の考え方	・選定した断面の耐震性能照査結果がOKであれば、その結果を同じグループ全体に適用。		

※パイプラインのウィークポイント（土地改良基準「パイプライン」P.338～339）

【地形的要因】

- ① 地形の変化点にある構造物周辺部（法肩、法尻部のスラストブロック等）
- ② 現地盤が軟弱な場合（沢部を横断するような場合など）
- ③ 地震基盤上の表層地盤の厚みが急変する場合

【土質的要因】

- ④ 地下水位が管頂部より高い場合
- ⑤ 埋戻し砂が緩い場合
- ⑥ 埋戻し砂の間隙水圧が高くなるような場合（傾斜地形で地下水を十分排水できないような場合）
- ⑦ 現地盤の液状化の可能性が高い場合

【施工的要因】

- ⑧ 矢板土留めによる施工
- ⑨ 傾斜配管

【パイプラインの構造的要因】

- ⑩ 構造物との接続部
- ⑪ 曲がり管部
- ⑫ 異形管の部分（T字管、片落管部等）

表 1.7. 2 管路のウィークポイント区分と事前または事後対策方針

管路区分	対応方針	対象施設
平面的な曲管部	【耐震解析を実施する】 - 平面的な曲管部は、グルーピングにより断面を選定し、液状化しない場合とする場合について平面的な屈曲部の耐震性能照査を実施する。 - 偏角30°以上の継手構造管(耐震管を除く)の箇所のうち、代表断面としてPC管区間の最大径φ2100とDCIP管区間の最大径φ700の2断面を選定し、解析を実施する。 - 同様の条件と考えられるグループは同じ事前対策を実施する。	PC管 DCIP管
縦断的な曲管部	【耐震対策を検討する】 <u>事前対策検討.1</u> - 軟弱な地盤(微地形区分「砂州・砂礫州」「後背湿地」「谷底低地」)に位置する縦断的な曲管(縦断勾配10°以上の箇所)で継手構造管(耐震管を除く)の箇所(4箇所)のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く2箇所を対象に検討する。 <u>事前対策検討.2</u> - 縦断勾配10°以上の継手構造と一体管路の変化点で、法尻・法肩に弁室、スラストブロックなどがあり、可とう管が無い箇所(42箇所)のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く13箇所を対象に検討する。 <u>事後対策</u> - 上記以外の箇所を対象に検討する。	PC管 DCIP管 SP管
分岐管や構造物との接続部	【耐震対策を検討する】 <u>事前対策検討.3</u> - 軟弱な地盤(微地形区分「砂州・砂礫州」「後背湿地」「谷底低地」)に位置する分岐管や異形管部(サージタンク、分水工等約30箇所)で、周辺地盤の液状化が想定される場合で可とう管などで構成されていない箇所(10箇所)のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く9箇所を対象に検討する。 <u>事後対策</u> - 上記以外の箇所を対象に検討する。	PC管 DCIP管 SP管

※耐震対策工法の概要は後述する。

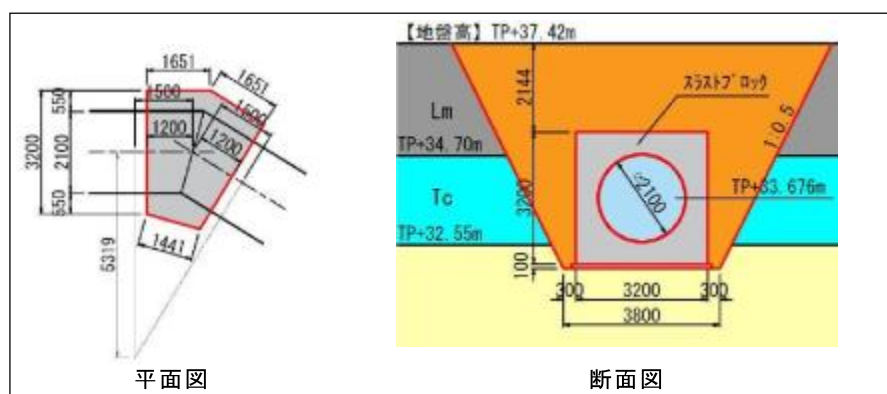


図 1.7. 1 スラストブロックの概要図

(2) 平面的な曲管部の耐震性能照査

平面的な曲管部において、グルーピングにより断面を選定し、液状化しない場合とする場合について平面的な屈曲部の耐震性能照査を実施した。曲管部のうち、偏角 30° 以上の継手構造管(耐震管を除く)の箇所から、PC管区間の最大径 $\phi 2100$ とDCIP管区間の最大径 $\phi 700$ の2断面の照査位置を選定した。

表 1.7. 3 曲管部耐震解析の断面位置

区間	測点 (曲がり角度)	選定理由
本線 PC $\phi 2100$ 区間	IP. 13 (NO. 46+25. 230) ($31^{\circ} 30' 00''$)	・スラストブロックを有する区間のうち、最大管径であり、現地盤のデータが取得できる返田中継水槽付近の曲管部のため
田良貝線 DCIP $\phi 700$ 区間	IP. 1-3 (NO. 0+40. 217) ($90^{\circ} 00' 00''$)	・スラストブロックが無い区間のうち、最大管径であり、曲がり角度が大きい箇所のため

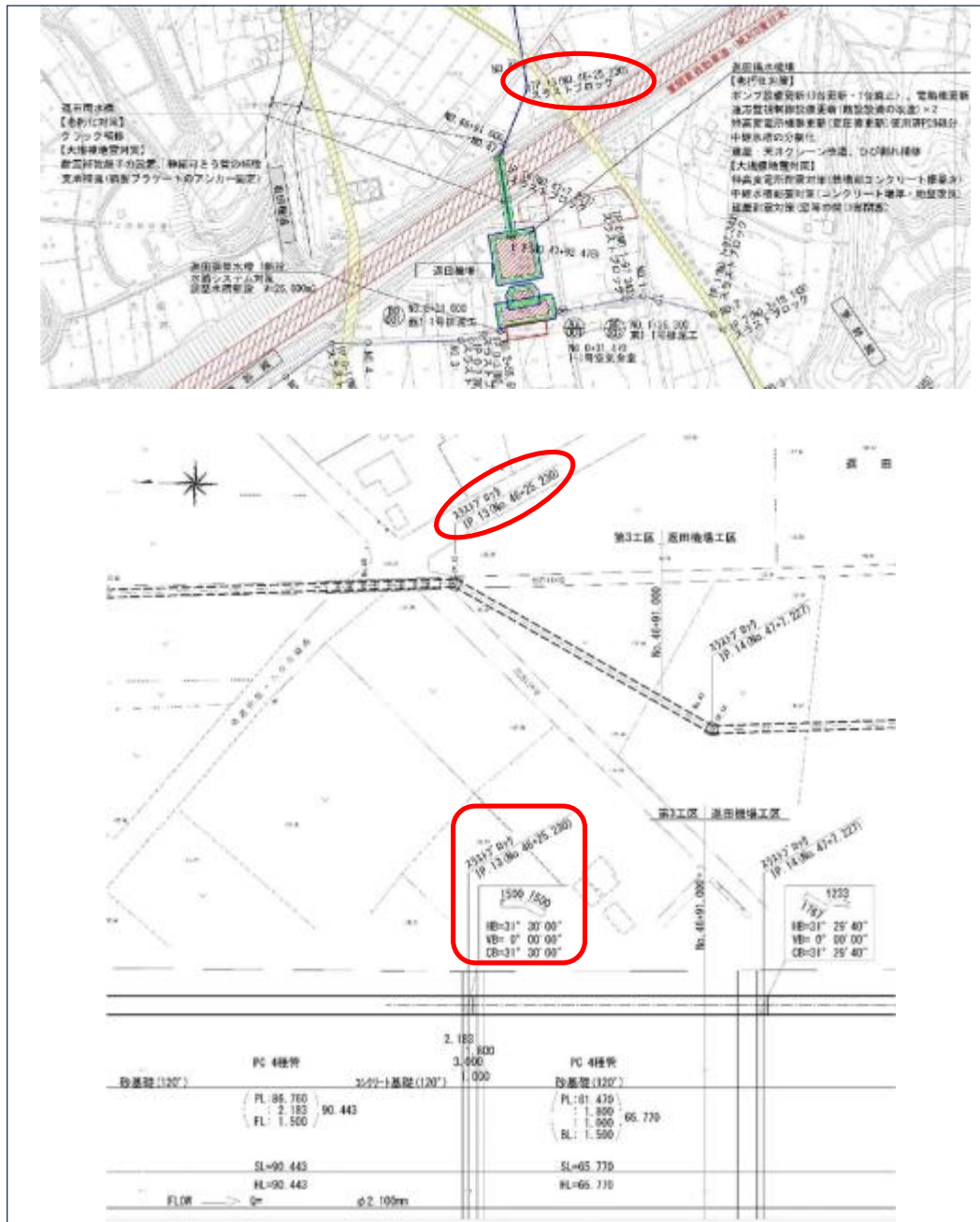


図 1.7. 2 本線_SP $\phi 2100$ 区間の位置図

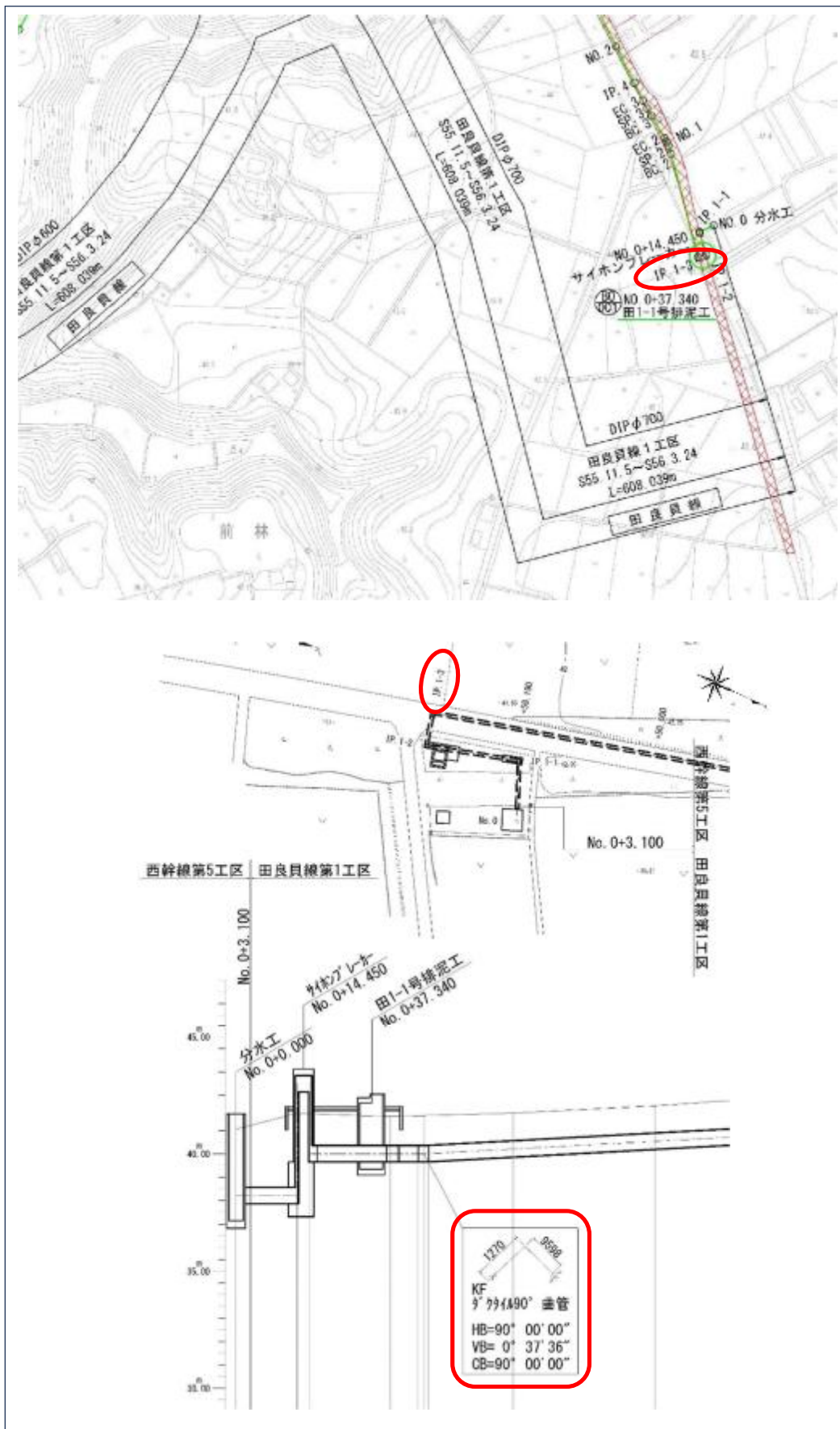


図 1.7. 3 田良貝線_DCIPφ700 区間の位置図

表 1.7. 4 平面曲管部一覧表 (PC 管)

管種	NO	路線、工区	測点NO +	管径φ (mm)	種別	平面曲がり			合成曲がり	解析 断面	スラスト 有無	可とう管	重要度	備考
						30° ~40°	40° 以上	50° 以上						
PC	1	本線第3工区	42	0.692	2100	4種	32° 47' 42"				有	無	Ⅱ	
	2	本線第3工区	46	25.23	2100	4種	31° 30' 00"			●	有	無	Ⅱ	
	3	本線辺田機場工区	47	7.227	2100	4種	31° 29' 40"				有	無	Ⅰ	
	4	東幹線第1工区	1	97.343	1800	3種		43° 08' 10"			有	無	Ⅱ	
	5	東幹線第1工区	4	31.635	1800	2種・3種	31° 23' 38"				有	無	Ⅱ	
	6	東幹線第1工区	6	55.929	1800	3種	31° 21' 40"				有	無	Ⅱ	
	7	東幹線第1工区	22	38.305	1800	2種	30° 17' 02"				有	無	Ⅱ	
	8	東幹線第3工区	58	68.973	1500	2種・1種		42° 16' 40"			有	無	Ⅳ	
	9	東幹線第4工区	10	85.108	1500	3種	32° 42' 00"				有	無	Ⅱ	
	10	東幹線第4工区	10	99.368	1500	3種	32° 45' 00"				有	無	Ⅱ	
	11	東幹線第4工区	14	58.393	1500	2種・3種	33° 35' 30"				有	無	Ⅱ	
	12	東幹線第4工区	16	64.86	1350	2種・1種		42° 08' 30"			有	無	Ⅱ	
	13	東幹線第5工区	31	27.36	1350	3種	31° 51' 47"				有	無	Ⅱ	
	14	東幹線第6工区	39	22.198	1350	2種・SP	30° 33' 17"		34° 40' 00"		(有)	有	Ⅱ	空気弁室、可とう管は下流側
	15	東幹線第7工区	51	44.763	1350	2種	34° 43' 00"				有	無	Ⅱ	
	16	東幹線第7工区	59	0	1350	2種		52° 32' 53"			有	無	Ⅱ	
	17	東幹線第10工区	101	81.719	1000	3種	36° 35' 10"				有	無	Ⅳ	
	18	東幹線第11工区	117	74.227	900	2種	36° 32' 35"				有	無	Ⅳ	
	19	八日市場第1工区	124	78.07	800	3種		67° 02' 02"			有	無	Ⅱ	
	20	八日市場第1工区	125	8.832	800	3種		90° 02' 27"			有	無	Ⅱ	
	21	八日市場第1工区	125	35.278	800	3種・鋼管		85° 00' 00"			無	無	Ⅱ	
	22	東幹線第1工区(その2)	0	19.538	600	3種		40° 54' 00"			(有)	無	Ⅳ	枅有り
	23	東幹線第1工区(その2)	0	25.47	600	3種		45° 00' 00"			無	無	Ⅳ	
	24	織機線第2工区	10	91.395	600	3種		42° 50' 50"			有	無	Ⅱ	
	25	織機線第2工区	11	39.045	600	3種		51° 00' 40"			有	無	Ⅱ	
	26	織機線第2工区	18	75.553	500	3種		52° 00' 00"			有	無	Ⅳ	
	27	織機線第2工区	18	89.653	500	3種		41° 30' 00"			有	無	Ⅳ	
	28	高萩線第1工区	0	31.3	500	3種		45° 00' 00"			有	無	Ⅳ	
	29	西幹線第1工区	4	39.127	1500	鋼管・2種	34° 25' 25"				有	無	Ⅱ	
	30	西幹線第1工区	22	64.837	1500	3種	30° 07' 47"				有	無	Ⅰ	
	31	西幹線第2工区	35	10.879	1350	3種		42° 34' 33"			有	無	Ⅱ	
	32	西幹線第2工区	40	95.208	1350	鋼管・3種	39° 47' 30"		40° 27' 35"		有	有	Ⅱ	可とう管は上流側
	33	西幹線第3工区	49	60.45	1350	3種・2種		43° 58' 49"	44° 07' 09"		(有)	無	Ⅳ	空気弁室、押輪継手
	34	西幹線第4工区	64	24.599	1350	3種	32° 38' 27"				有	無	Ⅱ	
	35	西幹線第5工区	73	49.155	1350	推進・3種	38° 40' 19"				(有)	無	Ⅰ	排泥弁工
	36	西幹線第5工区	83	66.498	1200	3種	35° 01' 30"				有	無	Ⅱ	
	37	西幹線第6工区	86	12.24	1000	3種・2種	31° 19' 32"				(有)	無	Ⅱ	分木工
	38	西幹線第6工区	92	7.462	1000	3種		44° 55' 25"			有	無	Ⅱ	
	39	西幹線第7工区	102	95.756	800	3種	32° 17' 10"				有	無	Ⅱ	
	40	西幹線第7工区	105	82.435	800	3種	38° 59' 50"				有	無	Ⅱ	
	41	西幹線第7工区	105	89.937	800	3種	39° 00' 00"				有	無	Ⅱ	
	42	西幹線第7工区	106	54.954	800	3種		45° 18' 05"			有	無	Ⅱ	
	43	西幹線第7工区	106	60.584	800	3種		45° 18' 05"			有	無	Ⅱ	
	44	西幹線第7工区	108	51.262	800	3種		48° 12' 40"			(有)	無	Ⅱ	分木工
	45	西幹線第7工区	115	48.95	600	3種・2種		43° 30' 00"			有	無	Ⅳ	
	46	西幹線第7工区	115	57.074	600	2種		43° 30' 00"			有	無	Ⅳ	
	47	田良貝線第2工区	22	42.862	600	3種・ダク		52° 53' 00"	53° 09' 58"		(有)	有	Ⅳ	空気弁室
	48	田良貝線第3工区	24	59.486	600	3種		54° 52' 50"			有	無	Ⅳ	
	49	田良貝線第3工区	25	68.58	600	3種	39° 57' 47"				有	無	Ⅳ	

表 1.7. 5 平面曲管部一覧表 (DCIP 管)

管種	NO	路線、工区	測点NO. *	管径φ (mm)	種別	平面曲がり			合成曲がり	解析 断面	スラスト 有無	可とう管	重要度	備考
						30° ~40°	40° 以上	50° 以上						
DCIP	1	八日市場第1工区	121	44.535	800	3種		81° 25' 35"			有	無	IV	
	2	八日市場第1工区	123	60.735	800	3種		57° 16' 55"			有	無	IV	
	3	八日市場第1工区	125	52.428	800	4種		78° 24' 05"			有	無	II	
	4	八日市場第1工区	125	80.048	800, 900	4種・推進	38° 20' 00"		57° 55' 21"		(有)	無	II	空気弁室
	5	八日市場第2工区	126	91.518	600	4種		49° 28' 50"			有	無	IV	
	6	八日市場第2工区	127	41.848	600	4種		47° 15' 20"			有	無	IV	
	7	八日市場第2工区	127	69.123	600	4種		49° 23' 45"			有	無	IV	
	8	八日市場第2工区	128	41.697	600	4種		49° 09' 15"			有	無	IV	
	9	八日市場第3工区	133	24.682	600	4種・3種	32° 43' 45"				有	無	IV	
	10	八日市場第3工区	134	30.854	600	3種・4種		46° 16' 00"			有	無	IV	
	11	八日市場第3工区	139	3.108	600	3種	33° 27' 31"				有	無	II	
	12	高萩線第1工区	5	41.975	400	3種		43° 45' 38"			有	無	II	
	13	高萩線第1工区	9	87.925	400	3種		45° 00' 00"			無	無	II	
	14	高萩線第1工区	11	1.455	400	推進・3種		49° 28' 25"			(有)	無	II	空気弁室
	15	高萩線第1工区	14	54.475	400	3種		45° 00' 00"			無	無	II	
	16	高萩線第2工区	18	99.115	400	3種	34° 32' 50"				有	無	II	
	17	高萩線第2工区	24	90.876	400	3種・鋼管	42° 04' 37"				(有)	無	II	空気弁室
	18	北幹線第1工区	0	0.739	600	4種		45° 00' 00"			(有)	無	IV	空気弁室
	19	北幹線第1工区	0	5.315	600	4種		76° 23' 00"			無	無	II	
	20	北幹線第1工区	21	90.764	600	4種		45° 00' 00"			無	無	II	
	21	北幹線第2工区	34	75.606	600	4種		43° 59' 00"			(有)	無	II	空気弁室
	22	北幹線第3工区	38	47.336	600	4種		89° 58' 00"			無	無	II	
	23	北幹線第3工区	39	23.505	600	4種		85° 24' 30"			(有)	無	II	空気弁室
	24	北幹線第3工区	39	63.05	600	4種		57° 19' 00"			無	無	II	
	25	田良貝線第1工区	0	40.217	700	4種		90° 00' 00"		●	無	無	II	
	26	田良貝線第1工区	5	37.48	600	4種	39° 23' 40"				無	無	II	
	27	田良貝線第1工区	5	43.48	600	4種	39° 23' 40"				無	無	II	
	28	田良貝線第1工区	6	98.895	600	4種		40° 51' 50"			(有)	無	II	排泥工
	29	田良貝線第1工区	7	49.095	600	4種	38° 34' 20"				無	無	II	
	30	田良貝線第1工区	9	1.48	600	4種	38° 32' 20"				(有)	無	II	空気弁室
	31	田良貝線第1工区	14	27.083	600	4種	29° 00' 00"				無	無	I	
	32	田良貝線第1工区	14	78.375	600	4種	35° 15' 00"				無	無	I	
	33	田良貝線第1工区	15	7.869	600	4種		44° 22' 00"			無	無	I	
	34	田良貝線第1工区	15	54.466	600	4種		52° 04' 00"			無	無	I	
	35	田良貝線第2工区	17	2.711	600	4種		60° 15' 40"			無	有	I	
	36	田良貝線第2工区	19	9.648	600	4種		48° 06' 20"			無	有	IV	
	37	田良貝線第2工区	19	37.954	600	4種	34° 54' 19"				無	無	IV	
	38	田良貝線第2工区	20	61.671	600	4種		41° 51' 12"			(有)	無	II	サージタンク分水工空気弁室
											有	68	5	※弁室等の構造物を有する箇所は、スラストブロックを有する箇所と同等の扱いとする
											無	19	82	
											合計	87	87	

(3) 縦断的な曲管部

1) 事前対策.1の箇所

軟弱な地盤（微地形区分「砂州・砂礫州」「後背湿地」「谷底低地」）に位置する縦断的な曲管（縦断勾配 10° 以上の箇所）で継手構造管（耐震管を除く）の箇所（4箇所）のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く2箇所について事前対策を検討する。

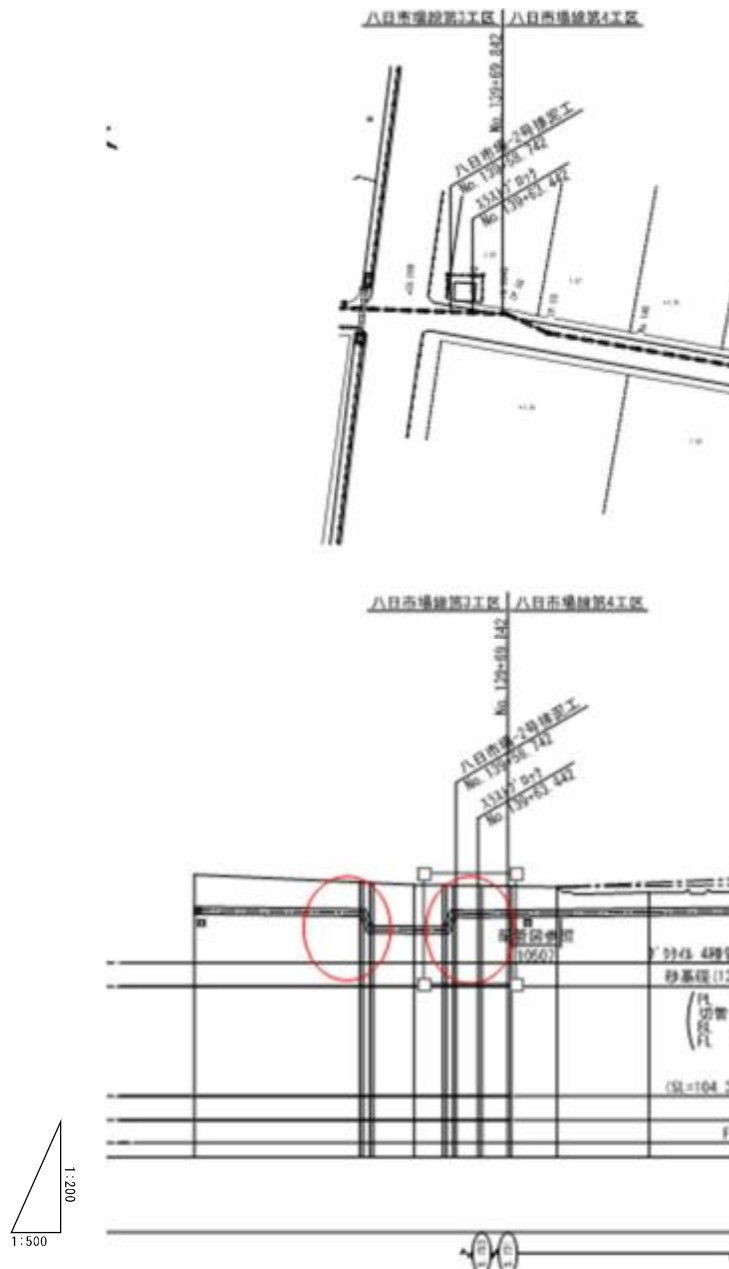


図 1.7. 4 縦断曲管部として選定した箇所（八日市場線φ700）

表 1.7. 6 微地形区分【砂州・砂礫洲、後背湿地、谷底低地】に位置する曲管部（平面・縦断）一覧表

水路名	施設区分	施設名	諸元 (延長:m)	構 造	震災対策 重要度評価	微地形区分	グループ	代表施設
本線	管水路	NO.0-34.47~ NO.2+81.29	L=316m	SPφ2100	Ⅱ	砂州・砂礫洲	本2	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.2+81.29~NO.5+0	L=219m	SPφ2100	Ⅱ	砂州・砂礫洲	本2	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.5+0~NO.5+27.8	L=28m	SPφ2100	I	後背湿地	本1	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.5+27.8~ IP.4(NO.5)+36	L=8m	SPφ2100	Ⅱ	後背湿地	本3	本線 SPφ2100
本線	管水路	IP.4(NO.5)+36~ NO.7+61.2	L=225m	SPφ2100	Ⅱ	後背湿地	本3	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.7+61.2~NO.13+0	L=547m	SPφ2100	Ⅱ	後背湿地	本3	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.13+0~ NO.18+40.2	L=540m	SPφ2100	Ⅱ	後背湿地	本3	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.18+40.2~ NO.21+49	L=309m	SPφ2100	I	後背湿地	本1	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.21+49~ NO.23+52.82	L=204m	SPφ2100	Ⅳ	後背湿地	本5	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.23+52.82~ NO.28+79.314	L=527m	SPφ2100	Ⅳ	後背湿地	本5	本線 SPφ2100
本線	管水路	NO.28+79.314~ NO.36+75	L=797m	SPφ2100	Ⅱ	谷底低地	本4	本線 SPφ2100
東幹線	管水路	NO.91+54.5~ NO.92+77	L=127m	SPφ1000	Ⅳ	谷底低地	東8	東幹線 SPφ1000
東幹線	管水路	NO.92+77~ IP.23(No.94)+24.353	L=150m	SPφ1000	I	谷底低地	東6	東幹線 SPφ1000
西幹線	管水路	NO.6+17~ NO.7+75.093	L=171m	SPφ1500	Ⅱ	谷底低地	西6	西幹線 SPφ1350
西幹線	管水路	IP.16(No.30)+16.722 ~NO.33+50	L=340m	SPφ1350	Ⅳ	谷底低地	西7	西幹線 SPφ1350
西幹線	管水路	IP.22~ IP.23(No.40)+95.208	L=146m	SPφ1350	Ⅳ	谷底低地	西7	西幹線 SPφ1350
西幹線	管水路	NO.73+5.627~ IP.51(No.73)+49.155	L=44m	SPφ1350	I	谷底低地	西4	西幹線 SPφ1350
八日市場線	管水路	NO.132+55~ NO.135+53	L=298m	DIPφ600	Ⅳ	谷底低地	八3	田良貝線 DCIPφ700
八日市場線	管水路	NO.135+53~ IP.51(No.137)+97.629	L=245m	DIPφ600	Ⅳ	谷底低地	八3	田良貝線 DCIPφ700
八日市場線	管水路	IP.51(No.137)+97.629 ~NO.140+90	L=294m	DIPφ600	Ⅱ	谷底低地	八1	田良貝線 DCIPφ700
八日市場線	管水路	NO.140+90~ NO.142+50	L=161m	DIPφ600	Ⅳ	谷底低地	八3	田良貝線 DCIPφ700

□：事前対策.1の該当箇所 2箇所（図1.7.4参照）

2) 事前対策. 2の箇所

縦断勾配10°以上の継手構造と一体管路の変化点で、法尻・法肩に弁室、スラストブロックなどがあり、可とう管が無い箇所（42箇所）のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く13箇所について事前対策を検討する。

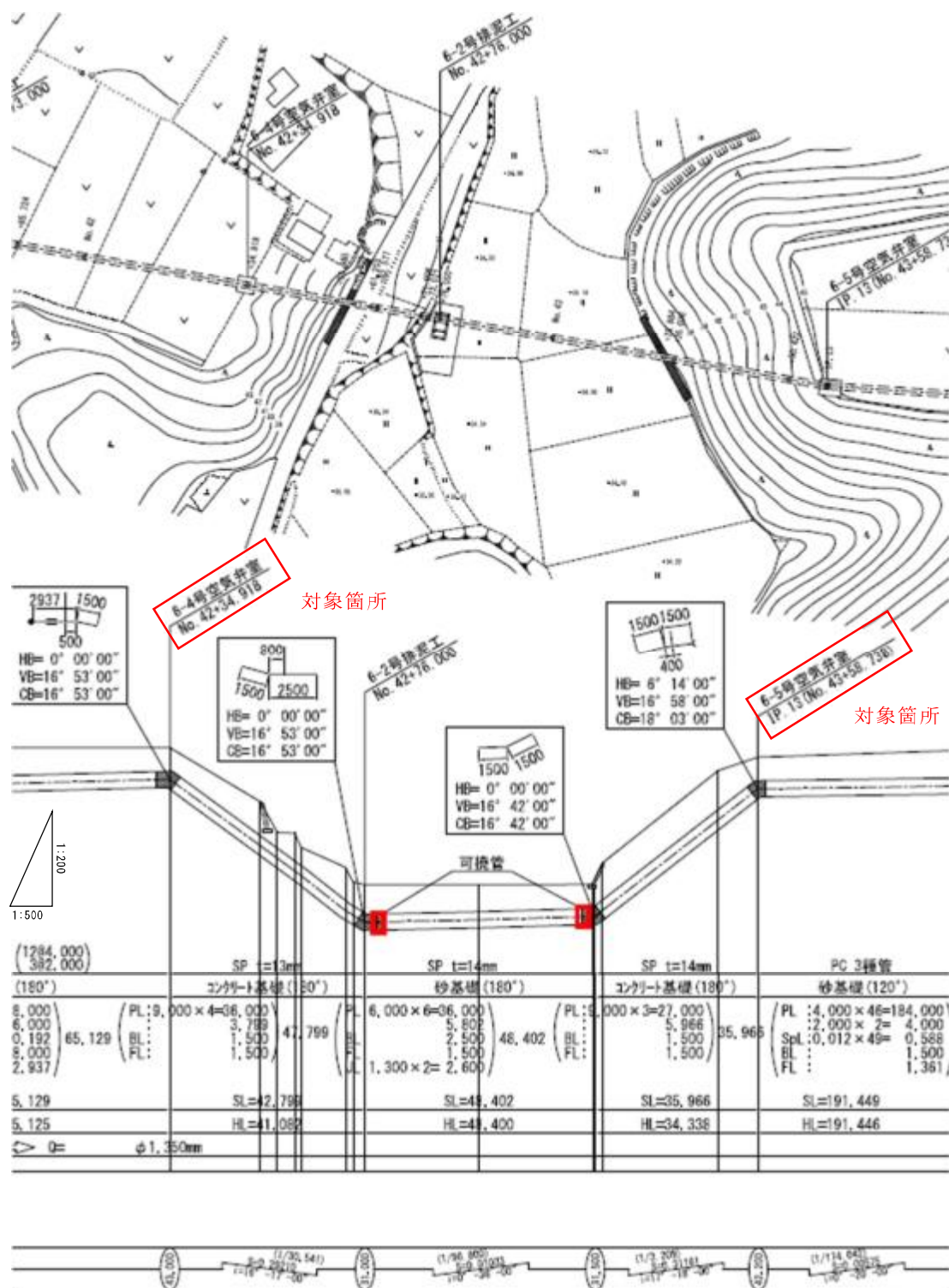


図 1.7. 5 縦断曲管部の例(1) (東幹線 φ1350)

表 1.7. 7 縦断変化点一覧表

工区名	No. 管位	配管種別と勾配(10°以上の箇所)																	法民・法府に市費や 35197のけつなどあり (河とう管無し)	重要度	備考
東幹線第5工区	21 17.2 φ1350	PC管	空気弁室	PC管 8' 31' 14"	スラスト	可換管	SP管	可換管	修理工	PC管 12' 33' 33"	空気弁室	PC管							※	2箇所	うち1箇所は 10°未満
東幹線第6工区	26 32 φ1350	SP管	可換管	分水工	修理工	PC管 11' 51' 28"	空気弁室	PC管											※	1箇所	
東幹線第7工区	39 22.198 φ1350	PC管	空気弁室	SP管 (5a基礎) 13' 22' 00"	SP管 (5a基礎) 28' 28' 30"	可換管	SP管	可換管	SP管 (5a基礎) 17' 36' 00"	空気弁室	PC管								※	2箇所	
東幹線第8工区	42 34.918 φ1350	PC管	空気弁室	SP管 (5a基礎) 16' 17' 00"	修理工	可換管	SP管	可換管	SP管 (5a基礎) 11' 16' 00"	空気弁室	PC管								※	2箇所	3
東幹線第9工区	52 67 φ1350	PC管	空気弁室	SP管 (5a基礎) 23' 45' 19"	スラスト	SP管	可換管	修理工	可換管	SP管	可換管	スラスト	SP管 (5a基礎) 24' 06' 00"	空気弁室	PC管				※	2箇所	
東幹線第10工区	60 37 φ1350	PC管	スラスト	PC管 18' 27' 06"	修理工	可換管	SP管												※	1箇所	
東幹線第11工区	91 38 φ1000	PC管	空気弁室	スラスト	PC管	スラスト	SP管 (5a基礎) 29' 36' 04"	SP管	可換管	修理工・空気弁室	可換管	SP管	SP管	SP管 (5a基礎) 22' 01' 18"	空気弁室	スラスト	普通鋼管	※	2箇所		
東幹線第12工区	96 41.511 φ1000	PC管	空気弁室	スラスト	SP管 (5a基礎) 22' 20' 37"	スラスト	SP管 12' 25' 07"	SP管	SP管	可換管	修理工・空気弁室	可換管	SP管	SP管 11' 17' 11"	スラスト	SP管 (5a基礎) 22' 14' 38"	スラスト	空気弁室	※	2箇所	
東幹線第13工区	104 34.838 φ900	PC管	空気弁室	SP管 (5a基礎) 17' 08' 29"	SP管	SP管	可換管	修理工	SP管	SP管 (5a基礎) 18' 23' 34"	空気弁室	PC管							※	2箇所	3
八日市場線第1工区	120 3.684 φ900	PC管	空気弁室	DCIP管(コン基礎) 16' 29' 32"	スラスト	DCIP管	スラスト	DCIP管	スラスト	DCIP管									※	2箇所	
八日市場線第2工区	123 75.995 φ900	DCIP管	スラスト	DCIP管 18' 12' 32"	空気弁室	PC管	スラスト	PC管	スラスト	PC管	46kg/2レキ	分水工	DCIP管	スラスト	DCIP管	スラスト	DCIP管	空気弁室	※	2箇所	
八日市場線第3工区	127 48.7 φ900	DCIP管	スラスト	DCIP管 13' 38' 03"	スラスト														※	2箇所	
八日市場線第4工区	139 36.363 φ900	DCIP管	DCIP管 45' 37' 24"	DCIP管 44' 42' 36"	修理工	スラスト	DCIP管												※	2箇所	3
横濱線第2工区	14 36.243 φ900~φ500	PC管	スラスト	SP管 (5a基礎) 28' 03' 34"	スラスト	SP管 (5a基礎) 39' 57' 06"	スラスト	SP管	スラスト	SP管	スラスト	SP管	修理工	スラスト	SP管 10' 46' 36"	スラスト			※	2箇所	1
西幹線第1工区	6 17 φ1000	PC管	スラスト	SP管 (5a基礎) 43' 18' 55"	SP管	可換管	修理工	SP管	スラスト	SP管 (5a基礎) 26' 45' 36"	スラスト	PC管							※	2箇所	3
西幹線第2工区	31 8 φ1350	SP管	SP管	SP管	可換管	修理工	可換管	SP管	SP管 (5a基礎) 36' 02' 04"	スラスト	SP管								※	1箇所	
西幹線第3工区	39 34.138 φ1350	PC管	空気弁室	スラスト	SP管 (5a基礎) 17' 58' 05"	SP管	可換管	修理工	SP管 (5a基礎) 25' 00' 42"	スラスト	SP管 8' 03' 28"	スラスト	PC管						※	2箇所	うち1箇所は 10°未満
西幹線第4工区	73 71.116 φ1350	PC管	スラスト	SP管 (5a基礎) 24' 26' 18"	空気弁室・スラスト	PC管													※	2箇所	
株直線第2工区	19 95.878 φ700	DCIP管 (5a基礎)	スラスト	DCIP管 (5a基礎) 16' 41' 59"	スラスト	DCIP管 (5a基礎) 26' 36' 06"	空気弁室	PC管											※	2箇所	3
株直線第3工区	22 42.362 φ900	PC管	空気弁室	PC管	スラスト	DCIP管 (5a基礎) 29' 14' 15"	スラスト	DCIP管 14' 40' 21"	スラスト	DCIP管	修理工	DCIP管 (5a基礎) 26' 27' 12"	スラスト	DCIP管					※	4箇所	
																			42箇所		重要度Ⅰ～Ⅲ 13箇所

縦断曲管部の例(1)

縦断曲管部の例(2)

■：縦断勾配10°以上の継手構造と一体管路の変化点で、法民・法府に弁室、スラストブロックなどがあり、可とう管がない箇所（42か所）
□：事前対策 2の該当箇所 13か所（図1.7.5～1.7.6参照） 上記のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く箇所

(4) 分岐管や構造物との接続部

1) 事前対策.3の箇所

軟弱な地盤（微地形区分「砂州・砂礫州」「後背湿地」「谷底低地」）に位置する分岐管や異形管部（サージタンク、分土工等約30箇所）で、周辺地盤の液状化が想定される場合で可とう管などで構成されていない箇所（10箇所）のうち、重要度Ⅳ・Ⅴを除く9箇所について事前対策を検討する。

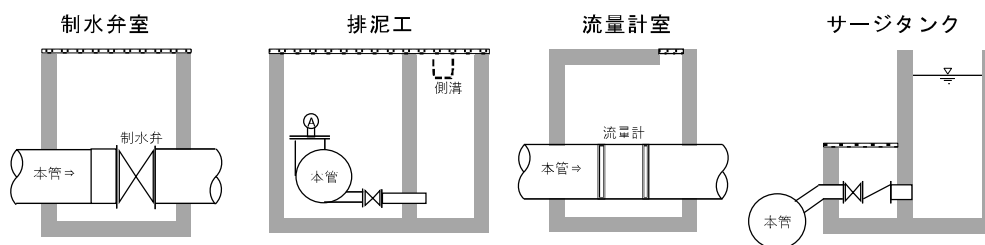


図 1.7.7 施設ごとの概略図

表 1.7.8 微地形区分【砂州・砂礫洲、後背湿地、谷底低地】に位置する分岐管、異形管部一覧表

本線							
A:空気弁、B:排泥工、S:制水弁							
施設	測点	分岐管構造	微地形区分	構造	可撓管	重要度	
1 流量計室	No. 1+26.000	—	砂州・砂礫州	Q-1	無し	Ⅱ	
1 給-1A	No. 2+81.290	—	砂州・砂礫州	—	無し	Ⅱ	
3 サージタンク	No. 2+88.640	鋼管(溶接)	砂州・砂礫州	T-1	無し	Ⅱ	例(1)
4 吉原分土工	No. 5+ 0.000	鋼管(溶接)	後背湿地	—	有り	Ⅰ	
5 1-1S	No. 7+58.750	—	後背湿地	S-1	有り	Ⅱ	
6 1-1A	No. 7+61.200	—	後背湿地	—	有り	Ⅱ	例(2)
7 1-2S	No.13+ 0.000	—	砂州・砂礫州	S-1	有り	Ⅱ	
8 1-2A	No.13+ 2.450	—	砂州・砂礫州	—	有り	Ⅱ	
9 1-3S	No.18+37.750	—	後背湿地	S-1	有り	Ⅱ	
10 1-3A	No.18+40.200	—	後背湿地	—	有り	Ⅰ	
11 2-1B	No.21+49.000	鋼管(フランジ)	後背湿地	B-2	有り	Ⅰ	
12 2-1S	No.23+43.570	—	後背湿地	S-1	有り	Ⅳ	
13 2-1A	—	—	後背湿地	—	有り	Ⅳ	
14 2-2S	No.28+79.314	—	後背湿地	S-1	有り	Ⅱ	
15 2-2A	—	—	後背湿地	—	有り	Ⅱ	

東幹線							
施設	測点	分岐管構造	微地形区分	構造	可撓管	重要度	
1 5-1B	No.22+ 5.000	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	有り	Ⅳ	
2 10-1B、A	No.92+77.000	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	有り	Ⅰ	

西幹線							
施設	測点	分岐管構造	微地形区分	構造	可撓管	重要度	
1 1-2B	No. 7+17.500	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	有り	Ⅱ	
2 2-1B	No.32+34.700	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	有り	Ⅳ	
3 S	No.32+36.450	—	谷底低地	S-1	有り	Ⅳ	
4 2-2B	No.40+35.500	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	有り	Ⅳ	
5 5-1B	No.73+45.800	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	無し	Ⅰ	
6 S	No.73+45.800	—	谷底低地	S-1	無し	Ⅰ	

八日市場線							
施設	測点	分岐管構造	微地形区分	構造	可撓管	重要度	
1 八-5A	No.132+55.000	—	谷底低地	—	無し	Ⅳ	
2 八-7A	No.137+97.629	—	谷底低地	—	無し	Ⅱ	
3 八-2B	No.139+61.242	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	無し	Ⅱ	
4 S	No.139+61.242	—	谷底低地	S-1	無し	Ⅱ	
5 八-8A	No.140+90.000	—	谷底低地	—	無し	Ⅱ	

田良貝線							
施設	測点	分岐管構造	微地形区分	構造	可撓管	重要度	
1 2-1B	No.18+16.650	鋼管(溶接)	谷底低地	B-2	有り	Ⅰ	
2 S	No.18+16.650	—	谷底低地	S-1	有り	Ⅰ	

□：事前対策.3の該当箇所 9箇所（図1.7.8、図1.7.9参照）

(5) 事前対策を検討する縦断曲管部及び、分岐管や構造物との接続部の位置

縦断曲管部及び、分岐管や構造物との接続部において、事前対策を検討する施設の位置図を以下に示す。

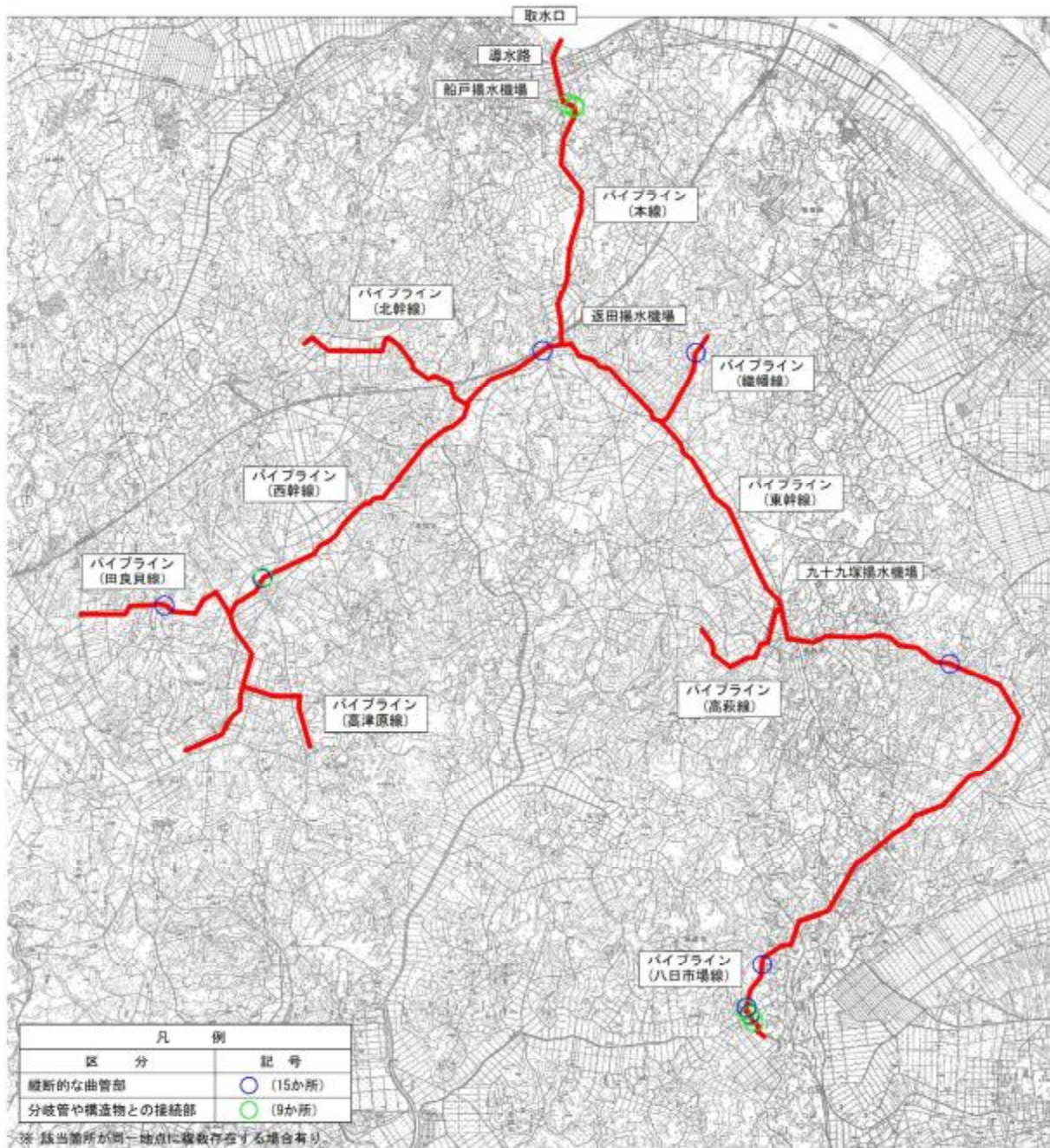


図 1.7. 10 事前対策を検討する縦断曲管部及び、分岐管や構造物との接続部の位置

(6) 事前対策検討の必要性

前述で整理したとおり、北総東部用水のパイプラインのウィークポイントのうち、「平面的な曲管部」では耐震解析を実施し、対策が必要な箇所を概略的に抽出して事前対策を講じる方針とした。一方、その他「縦断的な曲管部」及び「分岐管や構造物との接続部」においては、耐震解析を行わずに事前対策を検討または事後対策する方針とした。

①平面的な曲管部

⇒耐震解析を実施して事前対策

②縦断的な曲管部 及び 分岐管や構造物との接続部

⇒耐震解析を行わずに事前対策または事後対策

上記のうち、②の耐震解析を行わずに事前対策の内容は、以下に示す土地改良基準「パイプライン」に記載されている地震応答対策に該当することから、地震応答対策の方針に準じて対策方針を設定することとした。

地震応答対策は、土地改良基準「パイプライン」で規定される重要度A種及びB種については対策を講じることを基本としている。表1.7.10に、土地改良基準「パイプライン」の重要度区分の考え方を示す。

なお本技術書では、地震動がもたらすパイプラインの被災のうち計算手法が確立されていないもので、地震動による地盤・構造物の挙動の違い、埋戻し土の液状化、地すべり、斜面崩壊、地盤沈下などの地盤変状の被害防止対策を地震応答対策という。

出典：土地改良基準「パイプライン」P.339

d. 地震応答対策

(a) 地震応答対策は、耐震設計を行った後、パイプラインの屈曲部、土質の変化点、ごく軟弱な粘性土層及びシルト層、液状化の予想される飽和砂質土層等において検討を行う。ウィークポイントに対しては、重要度A種、重要度B種については対策を講じることを基本とし、路線全体の地震による被害の軽減を図るものとする。重要度C種のような重要度の低い施設については、地域の状況に応じて経済性等を勘案し、地震応答対策の必要性を判断する。

出典：土地改良基準「パイプライン」P.343

図 1.7. 11 地震応答対策（土地改良基準「パイプライン」抜粋）

表 1.7. 9 震災対策重要度の対比

土地改良基準 「パイプライン」	水資源機構 「水路工設計指針」
A種	I
B種	II
	III
C種	IV
	V

北総東部用水では、施設ごとに5段階（Ⅰ～Ⅴ）で震災対策重要度を設定しており、耐震照査で抽出したパイプライン施設では、ⅠまたはⅡの重要度となっている。

表1.7.10～1.7.11に示す基準ごとの重要度指標を参考にして、土地改良基準「パイプライン」と水資源機構「水路工設計指針」の重要度区分を対比すると、概ね表1.7.9のように整理できる。

これらの整理より、北総東部用水のパイプラインのうち、重要度A種及びB種に該当する施設については、地震応答対策として事前対策を検討することとした。

表 1.7. 10 土地改良基準「パイプライン」の重要度区分の考え方

表-9.6.1 重要度区分の考え方				
北総東部用水の耐震対策重要度		区 分	項 目 ①～③のいずれかに該当する施設	判断する上での参考指標
I	重要度 A 種 (レベル2地震動を考慮する)	①利水施設としての規模。 供給される用水の中断あるいは減量が地域の生活機能及び経済活動・生産活動に与える影響の度合い。	水路システムの中で上流に位置し、施設規模が極めて大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての水供給、ひいては地域の生活機能や経済活動・生産活動に著しい支障をきたす場合。 例) 基幹水利施設(水田用水)として、流量 5m³/s 以上、管径で φ2000 (V=1.5～2.0m/s 程度を想定)以上 ^注 など。また、バイパス水路の有無や、関連施設からの供給の可能性など地区の状況に応じて勘案する。	
		②被災による二次災害危険度。 パイプライン施設が被災することによる第三者への被害で、特に人命・財産やライフラインなどへの影響。	パイプライン施設に近接して家屋、避難場所、若しくは公道、鉄道、ライフライン等重要公共施設があり、水路の損壊による流出水が大量にこれらの場所に流入、又は湛水し、人命若しくは社会経済的に重大な影響を及ぼすおそれがある場合。	
		③応急復旧の難易度。 パイプライン施設が被災した場合に直ちに実施すべき応急復旧のための現場作業の難易度。	応急復旧のための作業が極めて困難、若しくは長期間を要する場合。 例) 宅地などの隣接部や構造物の埋設が深い場合などに難易度が高くなると考えられる。	
II	重要度 B 種 (レベル1地震動を考慮する)	①利水施設としての規模。 同上	施設規模が極めて大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての水供給、ひいては地域の生活機能や経済活動・生産活動に相当の支障をきたす場合で、A 種以外のもの。	
III		②被災による二次災害危険度。 同上	パイプライン施設に近接して家屋、避難場所、若しくは重要公共施設があり、水路の損壊による流出水がこれらの場所に流入又は湛水し、人命に重大な影響はないものの、社会経済的に多大な影響を及ぼすおそれがある場合。	
IV		③応急復旧の難易度。 同上	応急復旧のための作業に比較的に長期間を要する場合。	
V	重要度 C 種 (耐震設計は行わない)	①利水施設としての規模。 同上	A 種、B 種に該当しない場合。	
		②被災による二次災害危険度。 同上	②の例) 水路施設が甚大な被害を受けた場合でも付近の原野、水田等が浸水する程度で、社会経済的な影響が軽微な場合。	
		③応急復旧の難易度。 同上	③の例) 応急復旧のための作業が容易で、短期間で実施できる場合。	

注) 水田用水における流量 5m³/s 以上、管径で φ2000 (V=1.5～2.0m/s 程度を想定) 以上は、ひとつの例示として示しているものであることから、地区の状況に応じて勘案する。

注) 水田用水における流量 5m³/s 以上、管径で φ2000 (V=1.5～2.0m/s 程度を想定) 以上は、ひとつの例示として示しているものであることから、地区の状況に応じて勘案する。

出典: 土地改良基準「パイプライン」P.347

表 1.7. 11 北総東部用水の震災対策重要度（第 1 回委員会資料から抜粋）

表 4.1 震災対策重要度の総合評価

震災対策重要度	評価	二次災害危険度	応急復旧難易度	利水影響度
Ⅰ	二次災害危険度が A で、二次災害危険度以外にも A がある場合	A	A	A
		A	A	B or C
		A	B or C	A
Ⅱ	二次災害危険度のみが A の場合	A	B or C	B or C
		A	B or C	B or C
Ⅲ	二次災害危険度が A 以外で、応急復旧難易度、利水影響度のどちらか、または両方が A の場合	B or C	A	A
		B or C	A	B or C
		B or C	B or C	A
Ⅳ	3 評価項目の全てが A 以外で、かつ 1 項目以上 B がある場合	B	B or C	B or C
		B or C	B	B or C
		B or C	B or C	B
V	3 評価項目の全てが C である場合	C	C	C

(出典：水路工設計指針 表-5.2.2 一部加筆修正)

表 4.2 震災対策重要度の評価項目と評価基準

二次災害危険度	A	人命若しくは重要公共施設に重大な影響を及ぼす恐れがある場合
	B	人命に重大な影響はないものの、重要公共施設に影響を及ぼす恐れがある場合
	C	上記 A、B に該当しない場合
応急復旧難易度	A	応急復旧のための作業が極めて困難、若しくは長期間を要する場合
	B	応急復旧に比較的長時間を要する場合
	C	上記 A、B に該当しない場合
利水影響度	A	当該施設が被災した場合に利用できる他の水源が無く、住民の生活や地域の経済活動に著しい支障をきたす場合
	B	当該施設が被災した場合に利用できる他の水源が十分ではなく、住民の生活や地域の経済活動に相当の支障をきたす場合
	C	上記 A、B に該当しない場合

(出典：水路工設計指針 表-5.2.1 参考)

表 4.3 代表施設・断面における震災対策重要度

施設区分	代表施設	評価			震災対策重要度
		二次災害危険度	応急復旧難易度	利水影響度	
取水口	門柱	A	A	A	I
	樋管	A	A	A	I
専水路	杭基礎部	A	B	A	I
	JR 横断部	A	B	A	I
揚水機場 吸水槽	船戸吸水槽	A	A	A	I
揚水機場 土木施設	船戸サージタンク	A	-	A	I
	返田中継水槽	A	A	A	I
水管橋	返田用水槽	A	A	B	I
	本矢作第二橋	A	A	B	I
パイプライン	本線 SPφ2100	A	A	B	I
	東幹線 SPφ1000	A	A	B	I
	東幹線 PCφ1500	A	B	B	Ⅱ
	西幹線 SPφ1350	A	A	B	I
	西幹線 PCφ1500	A	A	B	I
	北幹線 DCIPφ600	A	A	B	I
	田良貝線 DCIPφ700	A	B	B	Ⅱ
	高萩線 DCIPφ400	A	A	B	I
加圧機場 土木施設	原新田ファームボンド	B	B	A	Ⅲ
揚水機場 建屋	船戸揚水機場 建屋	A	A	A	I
	返田揚水機場 建屋	A	A	A	I
	九十九塚揚水機場 建屋	C	A	A	Ⅲ
揚水機場 電気設備	船戸揚水機場 電気設備	A	A	A	I
	返田揚水機場 電気設備	A	A	A	I

1.7.2 平面曲管部の耐震解析の概要

(1) 耐震解析の概要

ここで実施する平面曲管部の耐震解析は、地震時におけるパイプライン曲管部の水平変位を予測することを目的とする。解析内容は、曲管背面に仮想的なすべり面を設定し、曲管背面地盤が地震の繰り返し荷重を受けて強度・剛性低下する過程を考慮した簡便な変位解析手法を用いて、内圧スラスト力による水平変位を算定するものである。

曲管部の変位による抜け出し等の被害が想定される管種（PC管、DCIP管）が埋設されている区間は、基本的に台地等で地下水位が低く液状化の影響が小さいと考えられる区間が多いが、液状化発生時の挙動を把握することを目的として、現地盤を対象とした液状化しにくい地盤ケースに加えて、液状化しやすい地盤を仮想的にモデル化したケースの2パターンについて検討した。

①液状化しにくい[現地盤]ケース

- ➡液状化しにくい現地盤を対象とした、剛性低下・強度低下が小さいケース

②液状化しやすい[仮想地盤]ケース

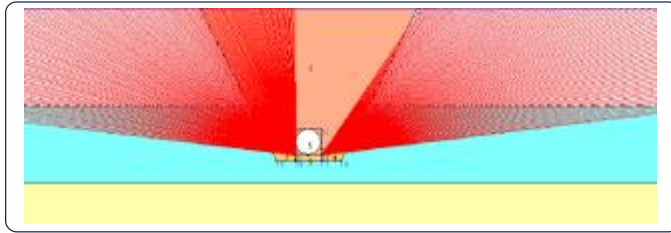
- ➡液状化しやすい地盤を想定した、剛性低下・強度低下が比較的大きくなる地盤を仮想的にモデル化したケース

なお、本検討は様々な構造（管径、角度、埋設条件、地盤条件等）を有する曲管部87箇所のうち、レベル2地震動に対して解析モデルを2断面に限定して検討していることから、パイプライン全体に対する耐震性の傾向を把握するための概略検討としての位置づけであることに留意する。

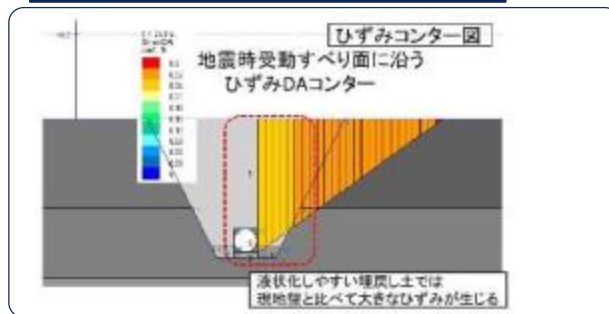
表 1.7. 12 曲管部耐震解析の流れ

項 目	内 容
① 地震動 の設定	(1) <u>地震動の選定</u> ・ 想定地震動のうち、最も影響が大きい地震動加速度波形を適用する。 ➡千葉県北西部直下地震を選定 (2) <u>一次元応答解析</u> ・ 地表面加速度波形を用いて一次元地盤応答解析(引き下げ)により管位置での地盤内応答倍率を設定する。 $\text{応答倍率} = \text{管位置の加速度} / \text{地表面加速度}$
② 解析モデル の作成	(1) <u>解析モデル図の作成</u> ・ 解析断面として以下の2断面のモデルを作成する。 ➡PCφ2100（スラストブロックあり） ➡DCIPφ700（スラストブロックなし） (2) <u>地盤物性値の設定</u> ・ 現地盤及び埋戻し土の物性値を設定する。 ・ 剛性低下、強度低下特性を設定する。（SIPの試験データから類推する） (3) <u>スラスト力の設定</u> ・ パイプライン区間ごとのスラスト力を算定し、数ケースに区分する。
③ 地震時 移動量解析	(1) <u>移動量の解析</u> ・ 曲管の地震時移動量解析プログラム「Thrust」（（株）複合技術研究所）を用いて解析を行う。 ・ 液状化しにくい[現地盤]ケースと液状化しやすい[仮想地盤]ケースについて、スラスト力の区分に応じて移動量を算出する。 ・ 受働すべり面の設定 ・ 地盤の損傷度、せん断強度、剛性低下の算定 ・ 受働土圧の低下及びバネ特性の算定 ・ 受働土圧や剛性が最小となるすべり面の設定 ・ スラストブロックの残留変位の算定

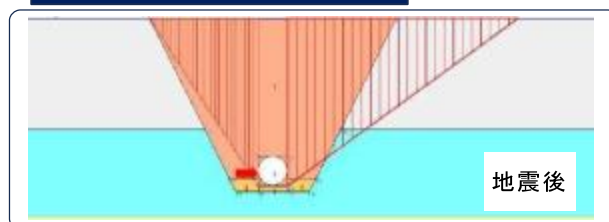
Step①：全ての主働側・受働側の試行楔



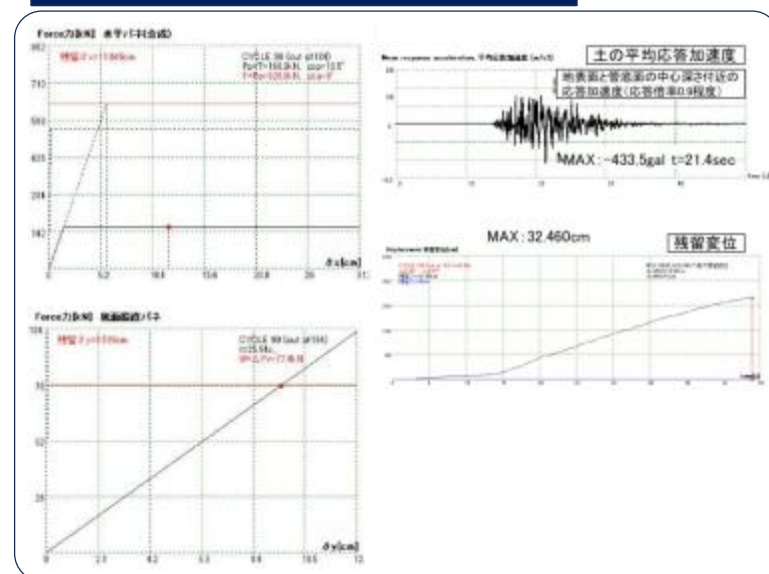
Step②：損傷ひずみ DA のコンター



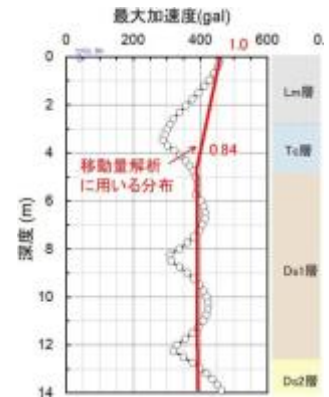
Step③：地震時土楔の位置



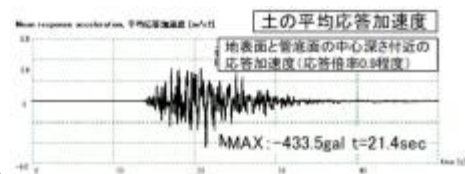
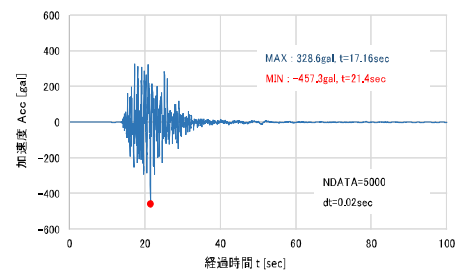
Step④：地盤バネ特性および変位時刻歴



入力波形及び応答分布の設定



入力波形及び応答波形



Step⑤：変形図



図 1.7. 12 解析ステップ図

(2) 設計地震動

耐震解析に適用する地震動は、レベル2地震動を対象として、返田中継水槽地点において影響が大きいと考えられる成田空港直下地震及び千葉県北西部直下地震のうち、地盤の固有周期 $T_g=0.21s$ において加速度応答スペクトルが大きい千葉県北西部直下地震を対象とした。

成田空港直下地震は、平成27年に検討地点近傍の返田中継水槽の耐震照査で選定された地震動であり、その後の平成29年に千葉県北西部直下地震が公開されたため、これらと比較して影響が大きい地震動を対象とするものとした。

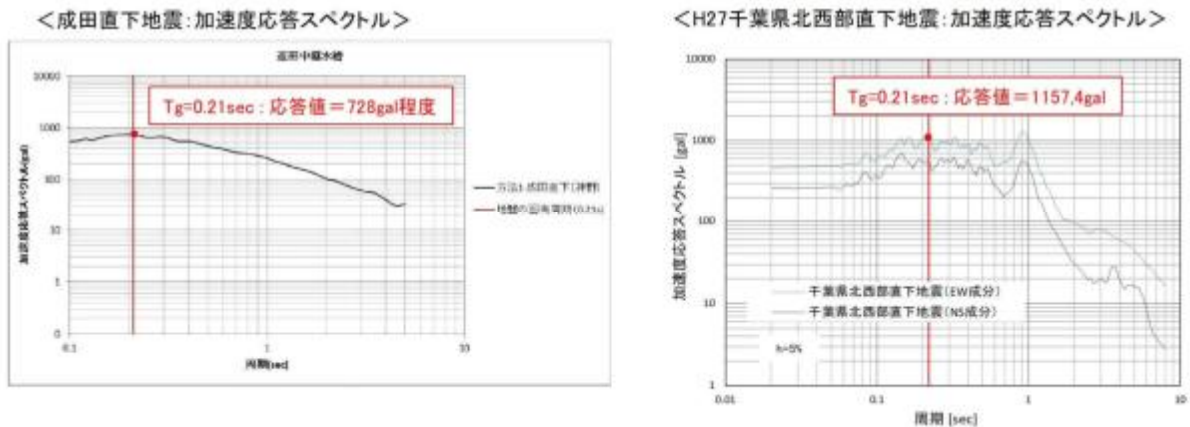


図 1.7. 13 加速度応答スペクトルの比較

地盤の固有周期は、H27返田中継水槽耐震照査成果を参考にして $T_g=0.21s$ とした。



図 1.7. 14 地盤種別の算定 (H27 返田中継水槽耐震照査成果から抜粋)

(3) 解析モデル

1) 断面形状

解析モデルは、前項で示すとおりスラストブロックを有する区間の代表として「本線SP $\phi 2100$ の曲管部 ($31^{\circ} 30' 00''$)」、スラストブロックがない区間の代表として「田良貝線DCIP $\phi 700$ の曲管部 ($90^{\circ} 00' 00''$)」の2タイプの断面について検討した。次ページに解析モデル図を示す。

それぞれの断面形状は、建設当時の竣工図を参考に設定し、スラストブロックがないモデルのDCIP $\phi 700$ の埋設深はスラストブロックを有するPC $\phi 2100$ の埋設深と同等と仮定した。

また、管水路工事共通仕様書（S50年7月）を参考にして、埋戻し材料は原則として掘削土を流用している前提とした。

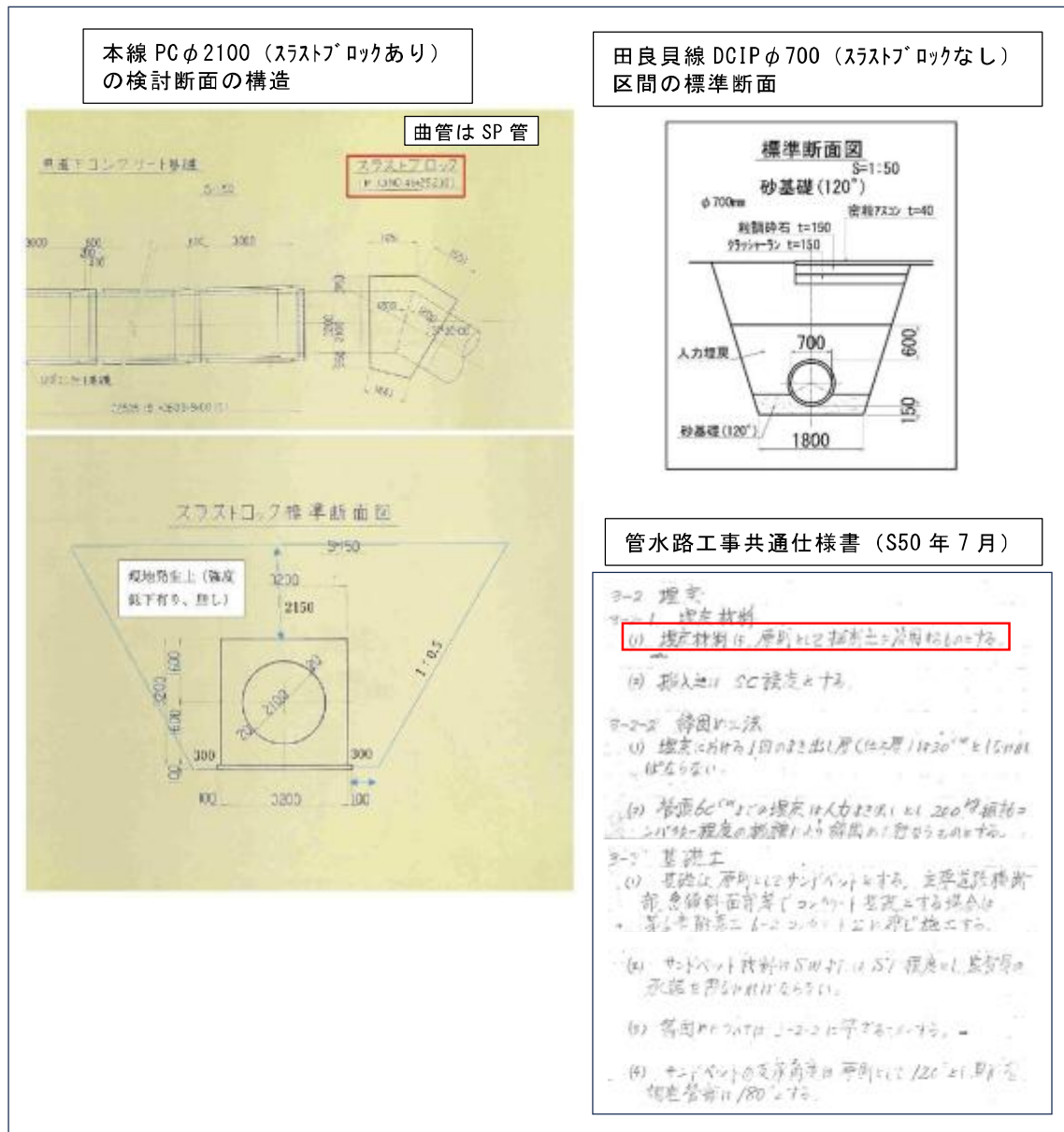


図 1.7. 15 建設当時の竣工図及び管水路工事共通仕様書

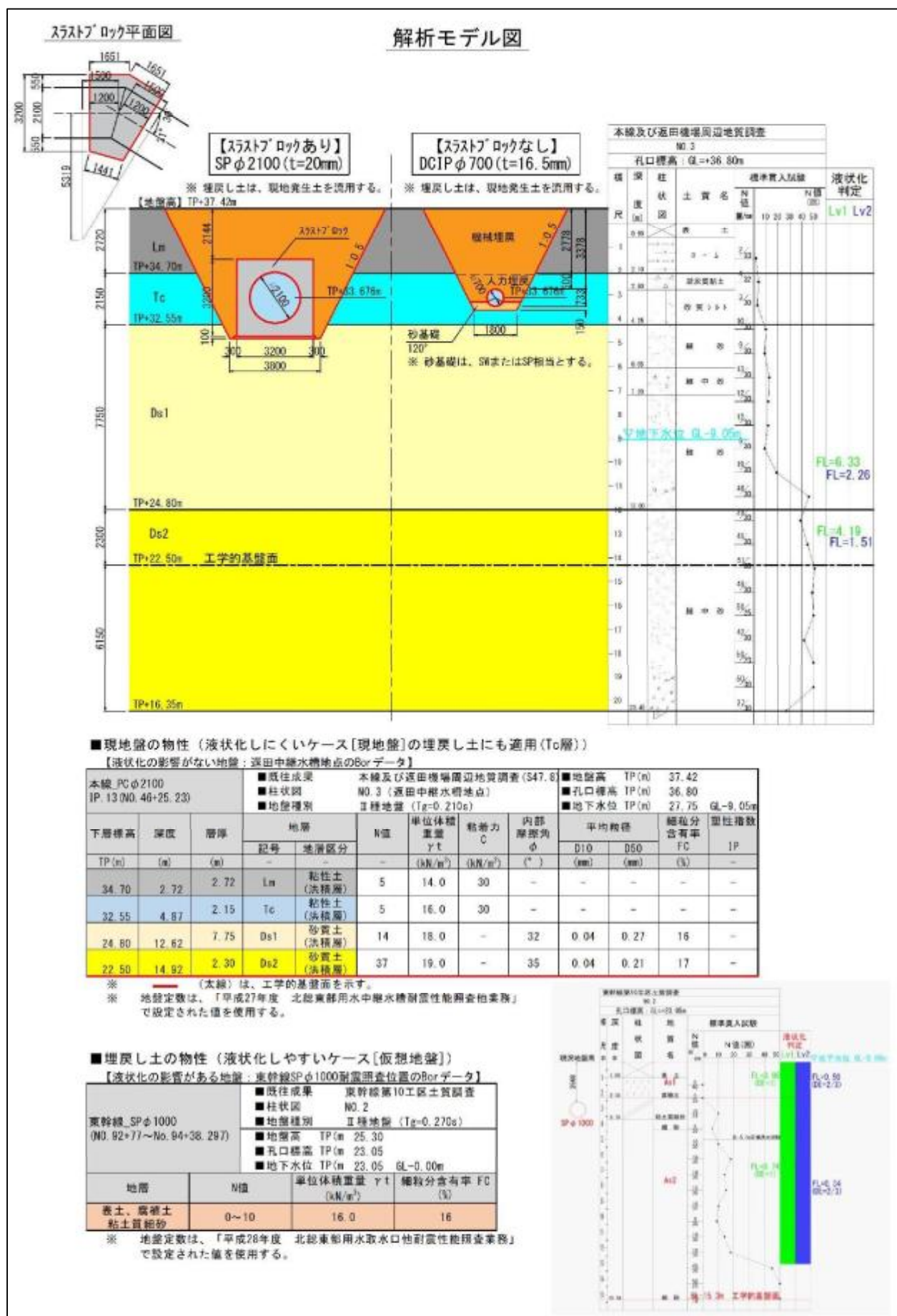


図 1.7. 16 解析モデル図

2) 地盤条件

①現地盤

現地盤の地盤条件は、本線PCφ2100の曲管部検討地点の近傍に位置する「返田中継水槽地点の地盤データ」を使用した。当該地盤は、解析モデル図に示すとおり地下水位がGL-9.05mと低い位置にあり、管理設位置が粘性土地盤で液状化抵抗率も大きく液状化しにくい地盤である。（液状化しにくい[現地盤]ケース）

曲管部耐震解析にあたり、液状化しやすい地盤を想定した仮想モデルを考慮するケースでは、地下水位が地表面（GL-0m）に存在すると仮定して検討を行うこととした。（液状化しやすい[仮想地盤]ケース）

②埋戻し土

埋戻し土は、現地掘削土を流用していると想定して、現地盤のTc（粘性土）の物性を適用することとした。

液状化しやすい[仮想地盤]ケースでは、パイプライン区間のうち比較的液状化しやすい地点の砂質土の地盤条件を適用することとして、「東幹線SPφ1000耐震照査位置の地盤データ」を適用することとした。

③地盤の剛性低下・強度低下特性（現地盤・埋戻し土）

液状化特性、剛性低下・強度低下特性を把握するためには、詳細な地盤調査、土質試験を実施する必要があるが、現時点ではこれらの試験データが取得できていない。このため、今回は現地盤及び埋戻し土の基本特性（N値、粒度、細粒分含有率）を基にして、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」において得られたため池等の試験データから、液状化特性、剛性低下・強度低下特性を類推することとした。

3) 解析ケース

解析ケースを表1.7.13に示す。本検討では、地盤条件による区分（液状化しにくい[現地盤]、液状化しやすい[仮想地盤]）、解析モデルによる区分（スラストブロックの有無）、スラスト力による区分（スラスト力・ケース一覧表参照）として解析ケースを設定した。

スラスト力による区分は、スラストブロックを有する区間においては曲管部ごとにスラスト力を算定し、100kNごとのデータ数の分布からA～Fの6ケースに区分した。スラストブロックがない区間は分布幅が比較的小さいため1ケースのみの区分とした。

表 1.7. 13 解析ケース一覧表

項 目	解析ケース													
	A	B	C	D	E	F	G	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'
地盤条件	液状化しにくい[現地盤]							液状化しやすい[仮想地盤]						
	区分	基本特性					液状化による剛性低下モデル	区分	基本特性					液状化による剛性低下モデル (SIPの試験データから類推)
	現地盤	返田中継水槽の現地盤データ (液状化しにくい粘性土地盤) 【地下水位：GL-9.05m】					液状化しない	現地盤	返田中継水槽の地盤データ 【地下水位：地表面（仮定）】					液状化しにくい粘性土の試料を適用 (N=4、Fc=69.4%)
	埋戻し土	返田中継水槽の現地盤データ (埋戻し材は現地掘削土を流用しているため現地盤のTc層を適用)					液状化しない	埋戻し土	比較的液状化しやすい地点の地盤データ (東幹線SPφ1000の照査地点)					やや液状化しやすい砂質土の試料を適用 (N=7、Fc=30.6%)
解析モデル	スラストブロックあり SPφ2100mm						スラストブロックなし DCIPφ700mm	スラストブロックあり SPφ2100mm						スラストブロックなし DCIPφ700mm
スラスト力 (kN)	100	200	300	500	1,000	1,400	400	100	200	300	500	1,000	1,400	400

表 1.7. 14 平面曲管部 スラストカ・解析ケース一覧表 (PC 管)

管種	NO	路線、工区	測点NO. +	管径φ (mm)	種別	平面曲がり			合成曲がり	解析 断面	スラスト 有無	可とう管	重要度	備考	設計水圧 (kN/m ²)	スラストカ P (kN)	ケース
						30° ~40°	40° 以上	50° 以上									
PC	1	本線第3工区	42	0.692	2100	4種	32° 47' 42"				有	無	II		700	1,370	F
	2	本線第3工区	46	25.23	2100	4種	31° 30' 00"			●	有	無	II		700	1,320	F
	3	本線辺田橋場工区	47	7.227	2100	4種	31° 29' 40"				有	無	I		700	1,320	F
	4	東幹線第1工区	1	97.343	1800	3種		43° 08' 10"			有	無	II		700	1,310	F
	5	東幹線第1工区	4	31.635	1800	2種・3種	31° 23' 38"				有	無	II		700	960	F
	6	東幹線第1工区	6	55.929	1800	3種	31° 21' 40"				有	無	II		700	960	F
	7	東幹線第1工区	22	38.305	1800	2種	30° 17' 02"				有	無	II		700	930	F
	8	東幹線第3工区	58	68.973	1500	2種・1種		42° 16' 40"			有	無	IV		700	890	F
	9	東幹線第4工区	10	85.108	1500	3種	32° 42' 00"				有	無	II		700	700	F
	10	東幹線第4工区	10	99.368	1500	3種	32° 45' 00"				有	無	II		700	700	F
	11	東幹線第4工区	14	58.393	1500	2種・3種	33° 35' 30"				有	無	II		700	710	F
	12	東幹線第4工区	16	64.86	1350	2種・1種		42° 08' 30"			有	無	II		700	770	F
	13	東幹線第5工区	31	27.36	1350	3種	31° 51' 47"				有	無	II		700	590	F
	14	東幹線第6工区	39	22.198	1350	2種・SP	30° 33' 17"		34° 40' 00"		(有)	有	II	空気弁室、可とう管は下流側	700	570	F
	15	東幹線第7工区	51	44.763	1350	2種	34° 43' 00"				有	無	II		700	640	F
	16	東幹線第7工区	59	0	1350	2種		52° 32' 53"			有	無	II		700	950	F
	17	東幹線第10工区	101	81.719	1000	3種	36° 35' 10"				有	無	IV		700	350	D
	18	東幹線第11工区	117	74.227	900	2種	36° 32' 35"				有	無	IV		700	280	C
	19	八日市場第1工区	124	78.07	800	3種		67° 02' 02"			有	無	II		700	390	D
	20	八日市場第1工区	125	8.832	800	3種		90° 02' 27"			有	無	II		700	500	D
	21	八日市場第1工区	125	35.278	800	3種・鋼管		85° 00' 00"			無	無	II		700	480	G
	22	東幹線第1工区(その2)	0	19.538	600	3種		40° 54' 00"			(有)	無	IV	橋有り	700	140	B
	23	東幹線第1工区(その2)	0	25.47	600	3種		45° 00' 00"			無	無	IV		700	150	G
	24	織幡線第2工区	10	91.395	600	3種		42° 50' 50"			有	無	II		700	140	B
	25	織幡線第2工区	11	39.045	600	3種		51° 00' 40"			有	無	II		700	170	B
	26	織幡線第2工区	18	75.553	500	3種		52° 00' 00"			有	無	IV		700	120	B
	27	織幡線第2工区	18	89.653	500	3種		41° 30' 00"			有	無	IV		700	100	A
	28	高森線第1工区	0	31.3	500	3種		45° 00' 00"			有	無	IV		700	110	B
	29	西幹線第1工区	4	39.127	1500	鋼管・2種	34° 25' 25"				有	無	II		700	730	F
	30	西幹線第1工区	22	64.837	1500	3種	30° 07' 47"				有	無	I		700	640	F
	31	西幹線第2工区	35	10.879	1350	3種		42° 34' 33"			有	無	II		700	780	F
	32	西幹線第2工区	40	95.208	1350	鋼管・3種	39° 47' 30"		40° 27' 35"		有	有	II	可とう管は上流側	700	730	F
	33	西幹線第3工区	49	60.45	1350	3種・2種		43° 58' 49"	44° 07' 09"		(有)	無	IV	空気弁室、押輪継手	700	810	F
	34	西幹線第4工区	64	24.599	1350	3種	32° 38' 27"				有	無	II		700	610	F
	35	西幹線第5工区	73	49.155	1350	推進・3種	38° 40' 19"				(有)	無	I	排泥井工	700	710	F
	36	西幹線第5工区	83	66.498	1200	3種	35° 01' 30"				有	無	II		700	480	D
	37	西幹線第6工区	86	12.24	1000	3種・2種	31° 19' 32"				(有)	無	II	分水工	700	300	C
	38	西幹線第6工区	92	7.462	1000	3種		44° 55' 25"			有	無	II		700	420	D
	39	西幹線第7工区	102	95.756	800	3種	32° 17' 10"				有	無	II		700	290	B
	40	西幹線第7工区	105	82.435	800	3種	38° 59' 50"				有	無	II		700	230	C
	41	西幹線第7工区	105	89.937	800	3種	39° 00' 00"				有	無	II		700	230	C
	42	西幹線第7工区	106	54.954	800	3種		45° 18' 05"			有	無	II		700	270	C
	43	西幹線第7工区	106	60.584	800	3種		45° 18' 05"			有	無	II		700	270	C
	44	西幹線第7工区	108	51.262	800	3種		48° 12' 40"			(有)	無	II	分水工	700	290	C
	45	西幹線第7工区	115	48.95	600	3種・2種		43° 30' 00"			有	無	IV		700	150	B
	46	西幹線第7工区	115	57.074	600	2種		43° 30' 00"			有	無	IV		700	150	B
	47	田良貝線第2工区	22	42.862	600	3種・ダク		52° 53' 00"	53° 09' 58"		(有)	有	IV	空気弁室	700	180	B
	48	田良貝線第3工区	24	59.486	600	3種		54° 52' 50"			有	無	IV		700	180	B
	49	田良貝線第3工区	25	68.58	600	3種		39° 57' 47"			有	無	IV		700	140	B

表 1.7. 15 平面曲管部 スラストカ・解析ケース一覧表 (DCIP 管)

管種	NO	路線、工区	測点NO. +	管径φ (mm)	種別	平面曲がり			合成曲がり	解析 断面	スラスト 有無	可とう管	重要度	備考	設計水圧 (kN/m ²)	スラストカ P (kN)	ケース
						30° ~40°	40° 以上	50° 以上									
DCIP	1	八日市場第1工区	121	44.535	800	3種		81° 25' 35"			有	無	IV		700	460	D
	2	八日市場第1工区	123	60.735	800	3種		57° 16' 55"			有	無	IV		700	340	D
	3	八日市場第1工区	125	52.428	800	4種		78° 24' 05"			有	無	II		700	440	D
	4	八日市場第1工区	125	80.048	800,900	4種・推進	38° 20' 00"		57° 55' 21"		(有)	無	II	空気弁室	700	230	C
	5	八日市場第2工区	126	91.518	600	4種		49° 28' 50"			有	無	IV		700	170	B
	6	八日市場第2工区	127	41.848	600	4種		47° 15' 20"			有	無	IV		700	160	B
	7	八日市場第2工区	127	69.123	600	4種		49° 23' 45"			有	無	IV		700	170	B
	8	八日市場第2工区	128	41.697	600	4種		49° 09' 15"			有	無	IV		700	160	B
	9	八日市場第3工区	133	24.682	600	4種・3種	32° 43' 45"				有	無	IV		700	110	B
	10	八日市場第3工区	134	30.854	600	3種・4種		46° 16' 00"			有	無	IV		700	160	B
	11	八日市場第3工区	139	3.108	600	3種	33° 27' 31"				有	無	II		700	110	B
	12	高萩線第1工区	5	41.975	400	3種		43° 45' 38"			有	無	II		700	70	A
	13	高萩線第1工区	9	87.925	400	3種		45° 00' 00"			無	無	II		700	70	G
	14	高萩線第1工区	11	1.455	400	推進・3種		49° 28' 25"			(有)	無	II	空気弁室	700	70	A
	15	高萩線第1工区	14	54.475	400	3種		45° 00' 00"			無	無	II		700	70	G
	16	高萩線第2工区	18	99.115	400	3種	34° 32' 50"				有	無	II		700	50	A
	17	高萩線第2工区	24	90.876	400	3種・鋼管	42° 04' 37"				(有)	無	II	空気弁室	700	60	A
	18	北幹線第1工区	0	0.739	600	4種		45° 00' 00"			(有)	無	IV	空気弁室	700	150	B
	19	北幹線第1工区	0	5.315	600	4種		76° 23' 00"			無	無	II		700	240	G
	20	北幹線第1工区	21	90.764	600	4種		45° 00' 00"			無	無	II		700	150	G
	21	北幹線第2工区	34	75.606	600	4種		43° 59' 00"			(有)	無	II	空気弁室	700	150	B
	22	北幹線第3工区	38	47.336	600	4種		89° 58' 00"			無	無	II		700	280	G
	23	北幹線第3工区	39	23.505	600	4種		85° 24' 30"			(有)	無	II	空気弁室	700	270	C
	24	北幹線第3工区	39	63.05	600	4種		57° 19' 00"			無	無	II		700	190	G
	25	田良貝線第1工区	0	40.217	700	4種		90° 00' 00"		●	無	無	II		700	380	G
	26	田良貝線第1工区	5	37.48	600	4種	39° 23' 40"				無	無	II		700	130	G
	27	田良貝線第1工区	5	43.48	600	4種	39° 23' 40"				無	無	II		700	130	G
	28	田良貝線第1工区	6	98.895	600	4種		40° 51' 50"			(有)	無	II	排泥工	700	140	B
	29	田良貝線第1工区	7	49.096	600	4種	38° 34' 20"				無	無	II		700	130	G
	30	田良貝線第1工区	9	1.48	600	4種	38° 32' 20"				(有)	無	II	空気弁室	700	130	B
	31	田良貝線第1工区	14	27.083	600	4種	29° 00' 00"				無	無	I		700	100	G
	32	田良貝線第1工区	14	78.375	600	4種	35° 15' 00"				無	無	I		700	120	G
	33	田良貝線第1工区	15	7.869	600	4種		44° 22' 00"			無	無	I		700	150	G
	34	田良貝線第1工区	15	54.466	600	4種		52° 04' 00"			無	無	I		700	170	G
	35	田良貝線第2工区	17	2.711	600	4種		60° 15' 40"			無	有	I		700	200	G
	36	田良貝線第2工区	19	9.648	600	4種		48° 06' 20"			無	有	IV		700	160	G
	37	田良貝線第2工区	19	37.954	600	4種	34° 54' 19"				無	無	IV		700	120	G
	38	田良貝線第2工区	20	61.671	600	4種		41° 51' 12"			(有)	無	II	サリ・タンク分水工空気弁室	700	140	B

■スラストブロックあり：ケース区分

スラストカ P (kN)	該当 ケース数	スラストカ P (kN)	該当 ケース数	ケース
0 ~ 100	5	0 ~ 100	5	A
100 ~ 200	23	100 ~ 200	23	B
200 ~ 300	9	200 ~ 300	9	C
300 ~ 400	3			
400 ~ 500	5	300 ~ 500	8	D
500 ~ 600	2			
600 ~ 700	5			
700 ~ 800	6			
800 ~ 900	2			
900 ~ 1000	4	500 ~ 1000	19	E
1000 ~ 1100	0			
1100 ~ 1200	0			
1200 ~ 1300	0			
1300 ~ 1400	4	1000 ~ 1400	4	F
合計	68	合計	68	6

■スラストブロックなし：ケース区分

スラストカ P (kN)	該当 ケース数	スラストカ P (kN)	該当 ケース数	ケース
0 ~ 100	3	0 ~ 100	3	
100 ~ 200	12	100 ~ 200	12	
200 ~ 300	2	200 ~ 300	2	
300 ~ 400	1			
400 ~ 500	1	300 ~ 500	2	
500 ~ 600	0			
600 ~ 700	0			
700 ~ 800	0			
800 ~ 900	0			
900 ~ 1000	0	500 ~ 1000	0	
1000 ~ 1100	0			
1100 ~ 1200	0			
1200 ~ 1300	0			
1300 ~ 1400	0	1000 ~ 1400	0	G
合計	19	合計	19	1

有	68	5
無	19	82
合計	87	87

※弁室等の構造物を有する箇所は、スラストブロックを有する箇所と同等の扱いとする

4) スラスト力の算定

スラスト力は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」P.416 に準じて算定する。

9.8.3 スラスト力の検討
 管体がスラスト力によって移動するか否かは、次の検討を行って判定する。
 (1) 屈曲部のスラスト力 (図-9.8.2、図-9.8.3 参照)
 a. 管が水平方向に屈曲する場合
 ① 滑動に対する検討

$$R_h \geq S \cdot P' \dots\dots\dots (9.8.1)$$
 ここに、
 R_h : 水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) (kN)
 P' : スラスト力 (kN)
 S : 安全率 (1.5 以上)
 スラスト力 P' は、式(9.8.2)により求める。

$$P' = 2 \left(H \cdot a_c + \frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \right) \sin \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (9.8.2)$$
 ここに、
 H : 設計水圧 (静水圧 + 水撃圧) (kN/m²) [参考 1MPa=1000kN/m²]
 a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積 (m²)
 図-9.8.3 のような継手構造の管では挿し口外径の断面積とし、そうでない場合は流水断面積とする。
 a : 流水断面積 (m²)
 w_0 : 管内水の単位体積重量 (kN/m³)
 V : 管内平均流速 (m/s)
 g : 重力の加速度 (m/s²)
 θ : 曲管の曲がり角度 (°)
 ただし、 $\frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g}$ については、通常の場合無視してよい。

図 3.2.1 スラスト力の算定

スラスト力の算定に用いる設計水圧は、静水圧 + 水撃圧により算定し、静水圧はパイプライン全区間の平均程度の静水圧として 500kN/m² に設定し、水撃圧は、技術資料を参考にし静水圧の 40% を見込むものとした。よって、設計内圧は静水圧 500kN/m² + 水撃圧 200kN/m² = 700kN/m² に設定した。

- | | |
|------------------------------|--|
| ① 静水圧 : 500kN/m ² | (パイプライン全区間の平均程度) |
| ② 水撃圧 : 200kN/m ² | (静水圧の 40% 500kN × 0.4) |
| 設計内圧 : 700kN/m ² | (① 静水圧 500kN/m ² + ② 水撃圧 200kN/m ²) |

3-2-3 設計内圧
 管水路の設計内圧は、静水圧に水撃圧を加算して算出する。
 建設当時の設計値は、経験則を原則として数値解法によりチェックを行った。
 経験則による計算
 ポンプ運転時 (100%) の動水勾配線をもとに、その地点の動水位から管中心高を差引いた値を静水圧とし、**静水圧又はポンプ揚程の 40% を水撃圧とした。**
 設計内圧 = 静水圧 + 水撃圧 (静水圧の 40%) - 管心高
 設計内圧 = 吸水槽水位 + ポンプ揚程 + (ポンプ揚程) × 40% - 管心高

図 1.7. 17 設計内圧と水撃圧 (北総東部用水事業技術資料 P.2-73 抜粋)

1.7.3 平面曲管部の耐震解析による地震時変位量の算定

(1) 耐震解析結果の考察

前項の解析条件をもとにして、スラストブロックを有する箇所（本線SPφ2100、ケースA～F）及びスラストブロックがない箇所（田良貝線DCIPφ700、ケースG）の曲管部の地震時変位量を算定した。それぞれ、「液状化しにくい[現地盤]」と「液状化しやすい[仮想地盤]」のケースについて算定した。解析結果を以下に示す。

表 1.7. 16 曲管部耐震解析結果

【液状化による剛性低下なし】ケース					【液状化による剛性低下あり】ケース				
ケース	スラスト力 F (kN)	基準書による常時の安定性 (安全率)	耐震解析		ケース	スラスト力 F (kN)	基準書による常時の安定性 (安全率)	耐震解析	
			加振前の安定性 (安全率)	水平変位量 (cm)				加振前の安定性 (安全率)	水平変位量 (cm)
		①	②				①	②	
A	100	22.17	4.18	0	A'	100	9.09	2.59	0.002
B	200	11.09	2.64	0	B'	200	4.54	1.88	0.003
C	300	7.39	1.93	0	C'	300	3.03	1.48	0.006
D	500	4.43	1.26	0	D'	500	1.82	1.03	0.068
E	1000	2.22	0.67	3.506	E'	1000	0.91	0.59	7.112
F	1400	1.58	0.49	15.034	F'	1400	0.65	0.44	21.817
G	400	0.46	0.73	11.062	G'	400	0.20	0.61	32.460

※1. ①は、土地改良事業計画設計基準「パイプライン」に準じた常時の安全率を算出した。

安全率 = $(Rh1 + Rh2) / F$

Rh1: 摩擦抵抗力（ブロック自重、土被り重量、管重、水重を考慮）

Rh2: 受働土圧

F: スラスト力

※2. ②は、変位解析に用いるモデルにおいて加振前の安全率を算出した。

安全率 = $(Rh1 + Rh2) / (F + Pa)$

Pa: 主働土圧

※3. ケースG、G'の①の値は、スラストブロックがない区間で曲げ角度90°曲管部の安全率とする。

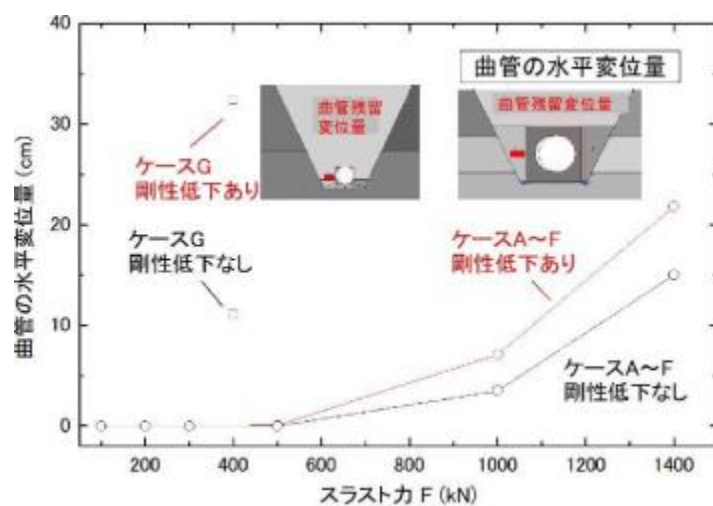


図 1.7. 18 水平変位量の傾向

1) スラストブロックあり（ケースA～F）の考察

スラストブロックを有するケースA～Fの解析結果の傾向としては、スラスト力が変位に大きく影響する結果となり、地震加速度も比較的小さいことから、スラスト力が小さいケースA～D（100～500kN）ではごく微小な変位量にとどまった。一方、ケースE～F（スラスト力1000～1400kN）では3～15cm（液状化しやすい[仮想地盤]ケースでは7～22cm）程度の変位が生じており、その要因として、スラスト力が非常に大きく、解析モデルにおける加振前の安全率が1.0以下となっていることが大きく影響していると考えられる。

剛性低下の影響としては、「液状化しにくい[現地盤]」よりも「液状化しやすい[仮想地盤]」のほうが全体的に大きな変位量となる傾向であるが、その差は比較的小さい範囲にとどまっている。その要因として、現地盤及び埋戻し土が液状化しにくい物性（粘性土）であり、剛性低下・強度低下があまり生じなかったことが考えられる。液状化しやすい埋戻し砂質土の影響は、土楔の位置図から判断して、本断面の埋戻し勾配が比較的大きい（1:0.5）ことから、液状化する埋戻し砂質土より現地盤粘性土のほうが受働土圧への影響が大きいことが考えられる。

2) スラストブロックなし（ケースG）の考察

スラストブロックがないケースGは、スラストブロックを有するケースE～Fと同様に、解析モデルにおける加振前の安全率が1.0以下となっていることが大きく影響し、11cm（液状化しやすい[仮想地盤]ケースでは32cm）の大きな変位が生じる結果となった。その要因として、ケースA～Fの断面と比較して受働土圧が小さいことが考えられる。

剛性低下の影響としては、土楔の位置から判断して、ケースA～Fの断面と比べて埋戻し砂質土の影響が若干大きくなっているため、「液状化しやすい[仮想地盤]」の変位量が卓越する傾向となった。

3) 基準書による常時の安全率と加振前の安全率について

解析結果の参考として、常時状態における2パターンの安全率を算定した。

- | |
|--------------------------------------|
| <p>①基準書による常時の安全率</p> <p>②加振前の安全率</p> |
|--------------------------------------|

「①基準書による常時の安全率」は、土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」に準じて算定した常時の安全率である。（図1.7.20参照）

$$\text{安全率}F_s = (Rh1 + Rh2) / F$$

Rh1：摩擦抵抗力（ブロック自重、土被り重量、管重、水重を考慮）

Rh2：受働土圧

F：スラスト力

「②加振前の安全率」は、曲管部の解析モデルにおける加振前の常時状態での安全率である。②では、主働土圧の作用を考慮しており（①では考慮していない）、②の安全率が1.0以下となった場合には顕著な変位が生じる可能性がある。

$$\text{安全率}F_s = (Rh1 + Rh2) / (F + Pa)$$

Pa：主働土圧

(1) スラストブロック

スラストブロックを設置する場合、「9.8.3 スラスト力の検討」で管について行った検討を、スラストブロックについて行う。

a. 滑動に対する検討

$$R_h \geq S \cdot P' \text{ 又は } S \cdot P_h \text{ (9.8.19)}$$

ここに、

R_h : 水平方向抵抗力 (kN)、 $R_h = R_{h1} + R_{h2}$

P' : スラスト力 (kN) 水平方向に屈曲の場合、式(9.8.2)による。

P_h : スラスト力の水平分力 (kN) 鉛直方向に屈曲の場合、式(9.8.7)による。

S : 安全率 (表-9.8.1 参照)

R_{h1} : スラストブロック底面の摩擦抵抗力 (kN)

R_{h2} : スラストブロック背面の受働土圧 (kN)

スラストブロック底面の摩擦抵抗力 R_{h1} は、式(9.8.20)により求める。

$$R_{h1} = \mu \cdot W_s \text{ (9.8.20)}$$

$$W_s = W_1 + W_2 + W_3 - U \text{ (9.8.21)}$$

ここに、

μ : 土とコンクリートの摩擦係数

W_s : スラストブロック底面に加わる全荷重 (kN)

W_1 : スラストブロック上の埋戻し土による鉛直土圧 (kN)

地下水位がスラストブロック天端より高い場合、地下水位以下の上の単位体積重量は水中単位体積重量を用いる。

W_2 : 曲管類の重量及び管内水重 (kN) (式(9.8.13)による)

W_3 : スラストブロック自重 (kN)

U : スラストブロック及び巻立て外の曲管に作用する浮力 (kN)

地下水位の影響を受けない場合は0とする。

スラストブロック背面の受働土圧 R_{h2} は、図-9.8.4 を参考に式(9.8.3a~9.8.3c) により求める。ただし、補正係数 F は1.0としてよい。

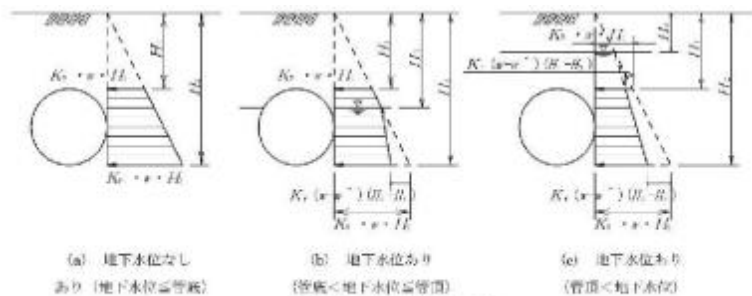


図-9.8.4 受働土圧算定模式図

地下水位なし又は地下水位あり (地下水位≦管底) の場合

$$R_{h2} = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot w \cdot B_b (H_2^2 - H_1^2) \text{ (9.8.3a)}$$

地下水位あり (管底<地下水位≦管頂) の場合

$$R_{h2} = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \left[w(H_2^2 - H_1^2) + (w - w')(H_2 - H_1)H_1 \right] \text{ (9.8.3b)}$$

地下水位あり (管頂<地下水位) の場合

$$R_{h2} = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \left[w'(H_2^2 - H_1^2) + 3(w - w')(H_2 - H_1)H_1 \right] \text{ (9.8.3c)}$$

ここに、

F : 曲面の受働土圧の補正係数 (0.65 とする)

w : 土の単位体積重量 (kN/m³)

w' : 土の水中単位体積重量 (kN/m³)

B_b : 管背面の幅 (m) (図-9.8.5 参照)

H_2 : 地表面から管底面までの深さ (m)

H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m)

H_3 : 地表面から地下水面までの深さ (m)

K_p : 受働土圧係数、 $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$

ϕ : 土の内摩擦角 (°)

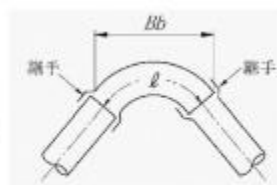


図-9.8.5 管背面の幅

図 1.7. 19 スラストブロックの安定検討 (パイプライン P.422 抜粋)

(2) 曲管部耐震解析

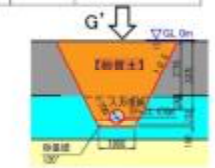
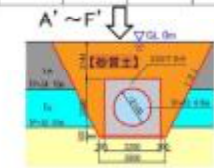
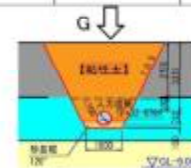
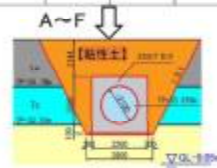
次ページ以降に曲管部耐震解析の検討内容を示す。検討項目は以下のとおりである。

1. 解析ケース一覧表
2. 入力地震動と地盤内応答の設定
3. 剛性低下のパラメータ設定（液状化特性、剛性低下・強度低下特性）
4. 解析ケース A～F（スラストブロックあり、PC ϕ 2100）の解析条件と解析結果
5. 解析ケース G（スラストブロックなし、DCIP ϕ 700）の解析条件と解析結果

【参考】解析手法

【1. 解析ケース一覧表】

項 目	内 容	解析ケース													
		A	D	G	D	E	F	G	A'	D'	G'	D'	E'	F'	G'
対象路線	■本線、返田中継水橋付近【IP.13 (NO.46+25.230)】 ※地質調査がある地点を選定	本線、返田中継水橋付近【IP.13 (NO.46+25.230)】													
地盤条件	■現地盤：返田中継水橋の現地盤データ (表層から管理設置位置までは液状化しにくい粘性土) ①液状化しにくい[現地盤]：地下水位はGL-9.05m ②液状化しやすい[仮想地盤]：地下水位は地表面(仮定) ※剛性低下モデル：SIPの試験データから類推 (液状化しにくい粘性土で、N=4、Fc=69.4%の試料を適用)	① 液状化しにくい[現地盤]							② 液状化しやすい[仮想地盤]						
	■埋戻し土： ①液状化しにくい[現地盤]：返田中継水橋の現地盤データ (埋戻し材は現地掘削土を流用しているため、 現地盤のTc層を適用) ②液状化しやすい[仮想地盤]：比較的液状化しやすい地点の現地盤 データ (東幹線SPφ1000の調査地点) ※剛性低下モデル：SIPの試験データから類推 (やや液状化しやすい砂質土で、N=7、Fc=30.6%の試料を適用)	区分 基本特性 液状化による 剛性低下モデル							区分 基本特性 液状化による 剛性低下モデル (SIPの試験データから類推)						
		現地盤 返田中継水橋の現地盤データ (液状化しにくい粘性土地盤) 【地下水位：GL-9.05m】							現地盤 返田中継水橋の地盤データ 【地下水位：地表面(仮定)】						
		埋戻し土 返田中継水橋の埋戻しデータ (埋戻し材は現地掘削土を流用し ているため現地盤のTc層を適用)							埋戻し土 比較的液状化しやすい地点 の地盤データ (東幹線SPφ1000の調査地点)						
埋戻し土 データ	■物性、剛性低下モデルは、SIPの試験データ(試料)から類推する ①液状化しにくい[現地盤]：粘性土を対象として、返田中継 水橋地点の液状化しない現地盤の物性から類推 ②液状化しやすい[仮想地盤]：砂質土を対象として、他区間で 最も液状化しやすい地点の現地盤の物性から類推														
解析モデル	■スラストブロックの有無に応じて2タイプのモデルを検討する ①スラストブロックがある解析モデル(最大径 SPφ2100mm) ②スラストブロックがない解析モデル(最大径 DCIPφ700mm)	① スラストブロックあり SPφ2100mm							② スラストブロックなし DCIPφ700mm						
	■スラスト力は、土地改良基準パイプラインの方法「静水圧+水撃圧」 により算出する。 ■スラスト力の検討ケースは、以下のとおり区分する。 ①スラストブロックあり SPφ2100mm：A～F (50～1) ②スラストブロックなし DCIPφ700mm：G (DCIP区間の最大スラスト力1ケース) ※別紙「スラスト力・ケース一覧表」を参考								① スラストブロックあり SPφ2100mm						
スラスト力 (kN)									② スラストブロックなし DCIPφ700mm						
		A 100	B 200	C 300	D 500	E 1000	F 1400	G 400	A' 100	B' 200	C' 300	D' 500	E' 1000	F' 1400	G' 400



返田中継水橋地点のBorデータ

【現地盤データ】

- ①液状化しにくい[現地盤]:地下水位はGL-9.05m
- ②液状化しやすい[仮想地盤]:地下水位は地表面(仮定)
- ⇒ 剛性低下モデル:現地盤(粘性土:Ln・Tc層)の液状化特性、剛性・強度低下特性は、SIPの試験データから類推する材料の特性を適用する
・N値=4、Fc=69.4% 香川県大田池田堤体粘性土層

本線、SPφ2100 (IP.13 (NO.46+25.230))		調査成果	本線及び返田中継水橋地点地質調査 (SAT. 8)	地盤種類	TP (m)	37.42
		■地盤種類	NO. 2 (返田中継水橋地点)	■孔の深さ	TP (m)	36.90
		■地盤種類	■地盤種類 (Tc=0.230s)	■地下水位	TP (m)	27.75 GL-9.05m
下層標高	深度	層厚	地盤	N値	内部摩擦角 φ	平均粒径
(IP (m))	(m)	(m)	記号 地盤区分			(mm)
34.38	2.72	2.72	Ln 粘性土 (液状層)	5	14.0	30
32.65	4.47	2.15	Tc 粘性土 (液状層)	5	16.0	30
24.80	12.62	7.75	Os1 砂質土 (液状層)	14	18.0	32
22.58	14.92	2.30	Os2 砂質土 (液状層)	37	18.0	38

【埋戻し土データ】

- ①液状化しにくい[現地盤]:埋戻し材は現地掘削土を流用し、Tc層の物性を適用する
- ②液状化しやすい[仮想地盤]:右記の地盤データを参考に設定する
※比較的液状化しやすい地点の地盤データを適用することとして
東幹線SPφ1000耐震照査位置のBorデータを適用する(砂質土)

東幹線SPφ1000耐震照査位置のBorデータ

【埋戻し土データ(液状化しやすい[仮想地盤])】

- 剛性低下モデル:埋戻し土の液状化特性・剛性・強度低下特性は、SIPの試験データから類推する材料の特性を適用する
・N値=7、Fc=30.6% 香川県河内池田堤体砂質土層

東幹線、SPφ1000 (NO.92+77~94+50.297)		調査成果	東幹線第10工区土質調査
		■地盤種類	NO. 2
		■地盤種類	■地盤種類 (Tc=0.270s)
下層標高	深度	層厚	地盤
(IP (m))	(m)	(m)	記号 地盤区分
23.30	2.30	2.30	Ln 粘性土 (液状層)
23.05	2.05	0.25	Tc 粘性土 (液状層)
22.05	10.05	7.80	Os1 砂質土 (液状層)
21.80	10.30	0.25	Os2 砂質土 (液状層)

296

【3. 剛性低下のパラメータ設定(液状化特性、剛性低下・強度低下特性)】

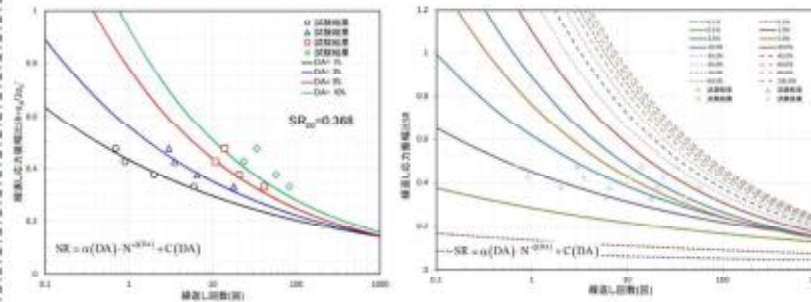
【現地土の特性(粘性土: Lm, Te)】

地盤の液状化特性及び剛性低下・強度低下特性は、SIPの試験データから類推する材料の特性を採用する。データベースのうち、以下の試料を選定する。

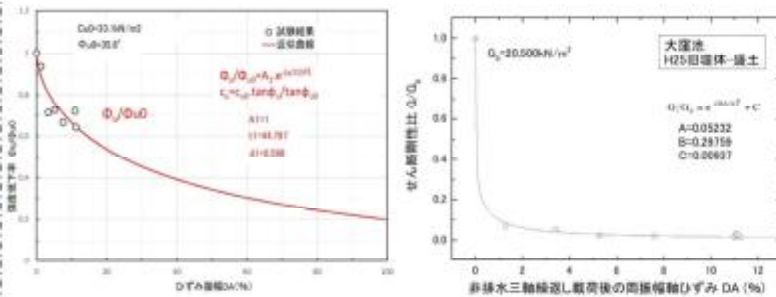
- N値=4, $F_c=69.4\%$ 、細粒分が比較大きく、液状化しにくい粘性土(試料16: 香川県大窪池旧堤体粘性土層B2c)

液状化特性及び剛性低下・強度低下特性を以下に示す。

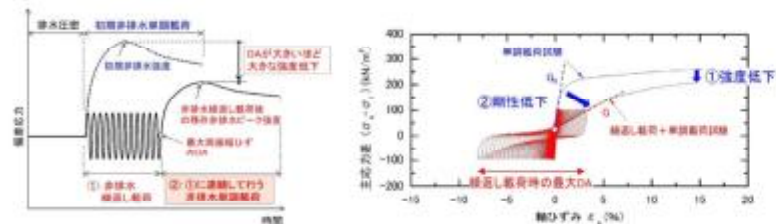
＜液状化特性＞ (左: 液状化試験のモデル化、右: $DA=100$ までのモデル化)



＜せん断強度(左)・せん断剛性(右)の低下特性＞



※参考: 剛性・強度低下を求める試験概要



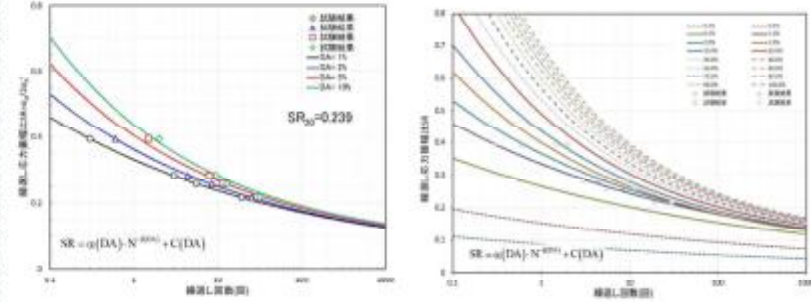
【埋戻し土(砂質土)】

地盤の液状化特性及び剛性低下・強度低下特性は、SIPの試験データから類推する材料の特性を採用する。データベースのうち、以下の試料を選定する。

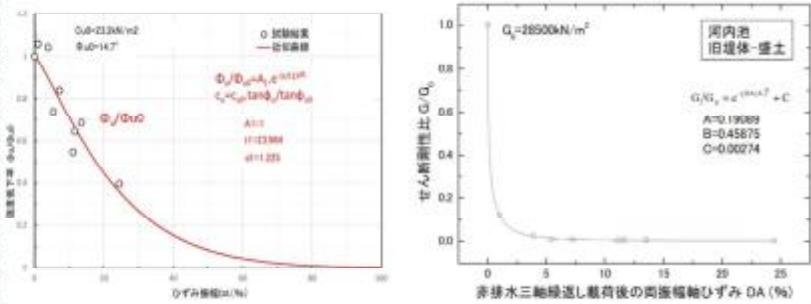
- N値=7, $F_c=30.6\%$ 、砂分が大きく、やや液状化しやすい砂質土(試料3: 香川県河内池旧堤体土B3)

液状化特性及び剛性低下・強度低下特性を以下に示す。

＜液状化特性＞ (左: 液状化試験のモデル化、右: $DA=100$ までのモデル化)



＜せん断強度(左)・せん断剛性(右)の低下特性＞



1) 解析モデル：解析断面は、本線IP.13(X0.46+25.230) SP&2100mm(t=20mm)のラストブロックあり（奥行2.4m）の断面とする。地下水位は、「【液状化しにくい【現地地盤】】ケースの場合は $GL-0.06\text{m}$ とし、「【液状化しやすい【仮想地盤】】ケースの場合は地表面とする。

2) 【液状化しにくい【現地地盤】】ケースの地盤物性値：現地地盤、埋戻し土ともに非液状化層とし、埋戻し土は現地地盤の Tc 層を適用する。

3) 【液状化しやすい【仮想地盤】】ケースの地盤物性値：現地地盤（積層粘性土： Lm , Tc ）の液状化・剛性低下特性は、SIPの試験データのうち類似する粘性土の材料特性を適用する。埋戻し土は、SIPの試験データのうち、やや液状化しやすい砂質土の材料特性を適用する。積層砂質土Ds1は非液状化層とする。

4) 初期せん断剛性 $G0$ ：すべり N 級より推定する。（ $G0=0.2(1+\nu)$, $E0=2800N$ ）

地層番号	地層名	平均 M値	基本特性		凍状化 強度 R _{fi} (N/m ²)	凍状化特性						結着力 c (kN/m ²) [N/m ²]	凍害低下特性					相対剛性 G/G ^{0.4} [MN/m ²]	融性低下特性		
			凍結量 ΔT ²⁾ [°C]	凍結量 T _{ice} [°C]		α _f R _{fi} (DA) = A ₁ [1 - e ^{-B₁ ΔT²⁾] + A₂ [1 - e^{-B₂ ΔT²⁾] (3)}}															
						A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	A ₄										
1~8	埋戻し土(砂質土)	5	16.0	16.8	0.239	α _f (DA) [°C]	0.0009	0.0324	0.3390	0.4648	68.0099	0	30	30.000	23.964	1.225	5.3	0.10090	0.43076	0.0002	
9, 10	スラスト・ブロック	-	24.0	24.0	-	凍状化状態						-	-	低下しない			-	低下しない			
8, 9	凍結粘性土(Lw)	5	14.0	14.8	0.388	α _f (DA) [°C]	0.0009	0.0132	0.8961	1.3824	48.2781	30	0.1	0.100	44.787	0.288	5.3	0.05232	0.29759	0.0002	
10, 11	凍結粘性土(Ts)	5	16.0	16.8	0.368	α _f (DA) [°C]	0.0009	0.0132	0.8961	1.3824	48.2781	30	0.1	0.100	44.787	0.288	5.3	0.05232	0.29759	0.0002	
12	凍結砂質土(Ds1)	14	18.0	18.8	-	凍状化状態						0	32	低下しない			14.7	低下しない			

【注】 加圧水型原子炉の熱水循環特性を解析する数値的安定性により、 $\gamma = 0.001 \sim 0.01$ とする。物理定数は下記とする。単位は SI 系とする。

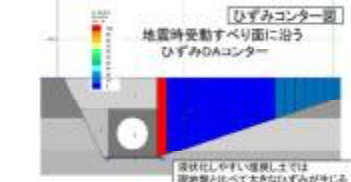
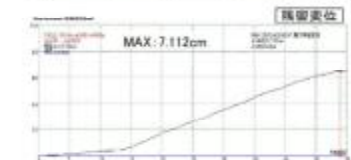
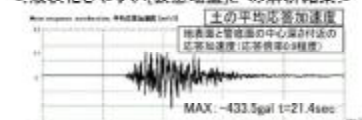
① 圧力ポテンシャル係数 β は加圧水型原子炉の設計圧力 p_0 に対して $\beta = 0.01$ とする。熱伝導率 k は 0.7 W/mK とする。

② 圧力ポテンシャル係数 β は加圧水型原子炉の設計圧力 p_0 に対して $\beta = 0.01$ とする。熱伝導率 k は 0.7 W/mK とする。

③ 圧力ポテンシャル係数 β は加圧水型原子炉の設計圧力 p_0 に対して $\beta = 0.01$ とする。熱伝導率 k は 0.7 W/mK とする。

④ 圧力ポテンシャル係数 β は加圧水型原子炉の設計圧力 p_0 に対して $\beta = 0.01$ とする。熱伝導率 k は 0.7 W/mK とする。

- ・**スラスト力の影響**：スラスト力が大きいかはどスラストブロックの移動量が大きくなる。また、【液状化しやすい【仮想地盤】】ケースの移動量がより大きいことが確認できる。
- ・**剛性低下の影響**：剛性低下の有無による移動量の差が比較的小さいことから、剛性低下があまり生じないことがわかる。現地盤の粘性土があまり液状化せず、埋戻し砂質土の液状化も大きく影響しないと考えられる。
- ・**受働土圧の影響**：計算に用いる全ての土壌の位置図から判断すると、本断面の埋戻し勾配が比較的大きい（1:0.5）ため、受働土圧への影響は液状化する埋戻し土（砂質土）より現地盤（粘性土）のほうが大きく影響すると考えられる。
- ・**地盤**：現地盤の粘性土の物性値として、やや液状化しにくい特性（SIPデータベース）を採用したため、スラスト力Fが100～500kN（ケースA～D）では地盤がほとんど液状化せず、地震加速度も比較的小さいことから、微小な変位量にとどまった。スラスト力Fが1000～1400kN（ケースE～F）で変位量が大きくくなった主な原因としては、スラスト力Fが非常に大きく地震前の安全率がすでに1.0以下となっていることが大きく影響し、液状化または剛性低下の影響は小さいと考えられる。



ケース	スラスト力 F (kN)	基準値による常時の安定性 (安全率)			水平 変位量 (cm)	
		耐震解析				
		加振前の 安定性 (安全率)	加振後の 安定性 (安全率)	水平 変位量 (cm)		
A	100	22.17	4.18	0		
B	200	11.09	2.64	0		
C	300	7.39	1.93	0		
D	500	4.43	1.26	0		
E	1000	2.22	0.67	3.506		
F	1400	1.58	0.49	15.034		
G	400	0.46	0.73	11.062		

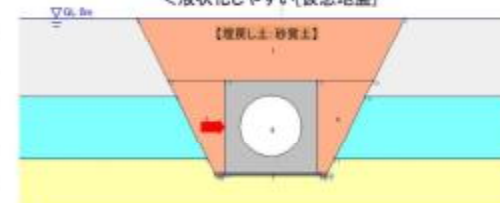
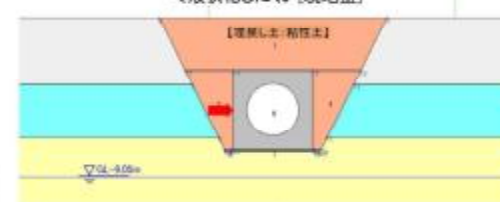
ケース	スラスト力 F (kN)	基準値による常時の安定性 (安全率)			水平 変位量 (cm)	
		耐震解析				
		加振前の 安定性 (安全率)	加振後の 安定性 (安全率)	水平 変位量 (cm)		
A'	100	9.09	2.59	0.002		
B'	200	4.54	1.88	0.003		
C'	300	3.03	1.48	0.006		
D'	500	1.82	1.03	0.068		
E'	1000	0.91	0.59	7.112		
F'	1400	0.65	0.44	21.817		
G'	400	0.20	0.61	32.460		

安全率 = (Rh1 + Rh2) / F
Rh1: 摩擦抵抗力 (ブロック自重、土被り重量、管重、水重を考慮)

②は、変位解析に用いるモデルにおいて加振前の安全率を算出した。

P_0 : 主働土圧

※3. $\theta = 30^\circ$ の①の値は、スラストロッキングがない区間で曲げ角度 90° 曲管部の安全率とする。



解析モデル図

Figure 10 is a line graph showing the horizontal displacement of the pipe (曲管の水平変位量) in cm on the y-axis (0 to 40) versus the thrust force F (kN) on the x-axis (0 to 1400). Two data series are plotted:

- Case G (liquefaction-prone, ideal ground):** Represented by a dashed line with open circles. It shows a sharp increase in displacement starting around 500 kN, reaching approximately 22 cm at 1400 kN.
- Case A-F (liquefaction-prone, actual ground):** Represented by a solid line with open circles. It shows a more gradual increase in displacement, reaching approximately 15 cm at 1400 kN.

Two diagrams illustrate the pipe's position relative to the ground:

- The left diagram shows the pipe at the bottom of the trench, labeled "曲管の水平変位量" (Horizontal displacement of the curved pipe).
- The right diagram shows the pipe floating in the water, labeled "曲管の水平変位量" (Horizontal displacement of the curved pipe).

【5.解析ケースG（スラストブロックなし、DCIPφ700）の解析条件と解析結果】

- 1) 解析モデル：解析断面は、田良貝線IP.13(N0.0+40.217) DCIPφ700mm(t=16.5mm)のスラストブロックなしの断面とする。地下水位は、【液状化しにくい[現地盤]】ケースの場合はGL-0.05mとし、【液状化しやすい[仮想地盤]】ケースの場合は地表面とする。
- 2) 【液状化しにくい[現地盤]】ケースの地盤物性値：現地盤、埋戻し土ともに非液状化層とし、埋戻し材は現地盤のTc層を適用する。
- 3) 【液状化しやすい[仮想地盤]】ケースの地盤物性値：現地盤（液状化層）：1m、Tcの液状化・剛性低下特性は、SIPの試験データのうち類似する粘性土の材料特性を適用する。埋戻し土は、SIPの試験データのうち、やや液状化しやすい砂質土の材料特性を適用する。洗積砂質土Ds1及び砂基礎は非液状化層とする。
- 4) 砂基礎の埋戻し材：埋戻し土と同等の特性とする。
- 5) 初期せん断剛性G0：すべてN値より推定する。（ $G0=E0/2(1+\nu)$ 、 $E0=2800N$ ）

地層番号	地層名	平均 M ₅₀ ¹⁾	基本特性		液状化 程度 D _{lim} ³⁾	液状化特性						粘着力 c _u (k ²) ⁴⁾	強度低下特性				剛性低下特性				
			埋戻し率 γ _{sat} ²⁾ (%)	飽和率 γ _{sat} ²⁾ (%)		$\alpha, \beta, C(DA) = A_1 + A_2 \cdot [1 - e^{-\alpha(DA)^{\beta}}] + A_3 \cdot [1 - e^{-\alpha(DA)^{\beta}}]^2$							内部摩擦 角φ ₁ (kN/m ²) ⁵⁾	$\phi_1(DA) = A_4 + A_5 \cdot e^{-\alpha(DA)^{\beta}}$				$G_1(D) = G_0 \cdot e^{-\alpha(DA)^{\beta}} + C$			
						α	β	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄			α	β	A ₄	A ₅	G ₀ ⁶⁾ (MN/m ²)	A	B	C
1	埋戻し土 (砂質土)	5	18.0	18.0	0.239	α(DA)	0.0000	0.3324	0.3396	0.4548	88.2009	0	30	30.00	23.864	1.225	5.3	0.18956	0.45875	0.0027	
						β(DA)	0.1000	0.0896	1.8072	0.1111	20.7850										
						C(DA)	0.0000	0.6922	2.4186	0.2588	15.4749										
2~4	砂基礎	-	18.0	18.0	-	新液状化層						-	-	低下しない				低下しない			
5, 7	洗積粘性土(L)	5	14.0	14.0	0.368	α(DA)	0.0000	0.6132	0.8061	1.3824	48.2761	30	0.1	0.100	44.797	0.598	5.3	0.05232	0.29756	0.0093	
						β(DA)	0.0030	0.1807	1.3960	0.5234	3.84259										
						C(DA)	0.0040	0.0864	0.0234	0.2847	3.1668										
						α(DA)	0.0000	0.6132	0.8061	1.3824	48.2761										
6	洗積粘性土(Tc)	5	18.0	18.0	0.368	α(DA)	0.0060	0.1807	1.3960	0.5234	3.84259	30	0.1	0.100	44.797	0.598	5.3	0.05232	0.29756	0.0093	
						β(DA)	0.0040	0.0864	0.0234	0.2847	3.1668										
9	洗積砂質土(Ds1)	14	18.0	18.0	-	新液状化層						0	32	低下しない				低下しない			

【地盤定数の注釈】

※1：地盤定数は、地盤定数データベース「地盤定数データベース」に基づき、地盤定数を決定する。単位は、kg/m³とする。

※2：SIPの地盤定数データベース「地盤定数データベース」に基づき、地盤定数を決定する。単位は、kN/m³とする。

※3：SIPの地盤定数データベース「地盤定数データベース」に基づき、地盤定数を決定する。単位は、[%]とする。

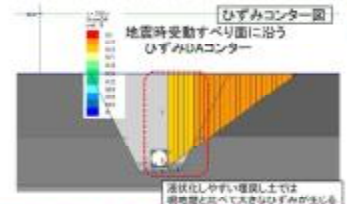
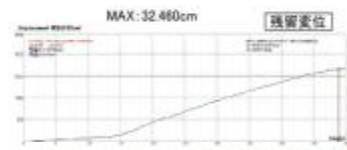
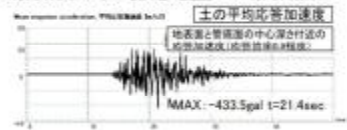
※4：SIPの地盤定数データベース「地盤定数データベース」に基づき、地盤定数を決定する。単位は、[kN/m²]とする。

※5：SIPの地盤定数データベース「地盤定数データベース」に基づき、地盤定数を決定する。単位は、[kN/m²]とする。

6) 解析結果 ケースG（スラスト力F=400kN）

- ・剛性低下の影響：ケースA～Fと同様に、【液状化しやすい[仮想地盤]】ケースの移動量がより大きいことが確認できる。
- ・総括：ケースA～Fと同様に【液状化しやすい[仮想地盤]】ケースの移動量がより大きいことが確認できる。要因としては、土壌の位置から判断して受働側に埋戻し土の影響が大きくなること、及び地震前の安全率がすでに1.0以下となっていることが影響していると考えられる。

＜液状化しやすい[仮想地盤]G'の解析結果＞



ケースA～Fより埋戻し土の範囲が大きいため、埋戻し土の液状化の影響が少し大きくなる

＜結果一覧表＞

【液状化しにくい[現地盤]】ケース

スラスト力 F (kN)	基準書による常時の安定性 (安全率)	加振前の安定性 (安全率)	水平変位量 (cm)
A	100	22.17	4.18
B	200	11.09	2.64
C	300	7.39	1.93
D	500	4.43	1.26
E	1000	2.22	0.67
F	1400	1.58	0.49
G	400	0.46	0.73

※1. ①は、土地改良事業計画設計基準「バイブライズ」に準じた常時の安全率を算出した。

安全率 = $(Rh1 + Rh2) / F$

Rh1：摩擦抵抗力（ブロック自重、土被り重量、管重、水重を考慮）

Rh2：受働土圧

F：スラスト力

※2. ②は、変位解析に用いるモデルにおいて加振前の安全率を算出した。

安全率 = $(Rh1 + Rh2) / (F + Pa)$

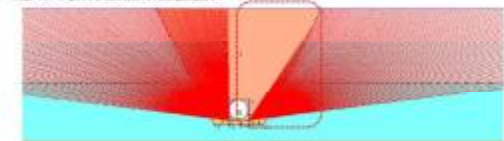
Pa：主働土圧

※3. ケースG、G'の①の値は、スラスト力が無い区間で曲げ角度90°曲管部の安全率とする。

【液状化しやすい[仮想地盤]】ケース

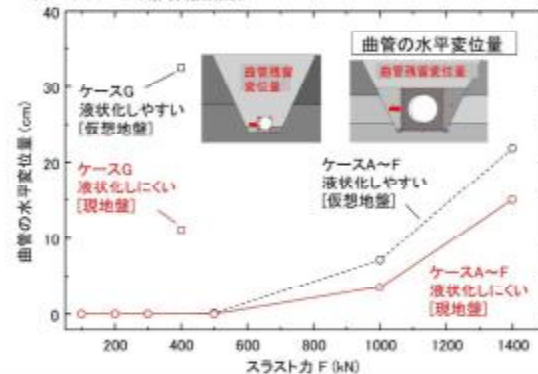
スラスト力 F (kN)	基準書による常時の安定性 (安全率)	加振前の安定性 (安全率)	水平変位量 (cm)
A'	100	9.09	2.59
B'	200	4.54	1.88
C'	300	3.03	1.48
D'	500	1.82	1.03
E'	1000	0.91	0.59
F'	1400	0.65	0.44
G'	400	0.20	0.61

＜全ての試行土模の位置図＞



ケースA～Fより埋戻し土の範囲が大きいため、埋戻し土の液状化の影響が少し大きくなる

＜ケースA～Gの解析結果＞



1.7.4 平面曲管部の安全性評価

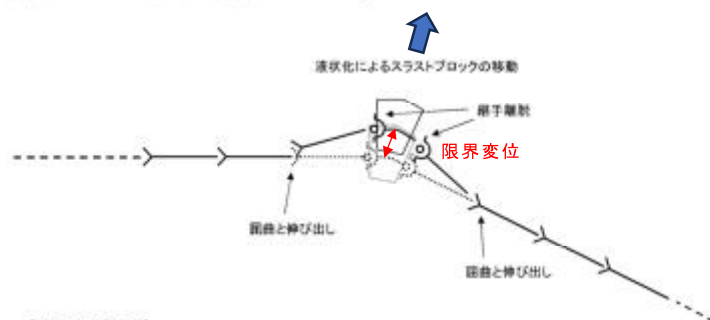
(1) 曲管部継手の限界変位

前項で算出した地震時移動量と、曲管（スラストブロック）が移動して継手離脱に至る「限界変位」（図1.7.20により算出）を対比して安全性を評価することとした。

【耐震判定】 地震時移動量 ≤ 限界変位

5.1.2 計算による曲管部継手の限界変位

管路被災事例によると、多くのケースで曲管から1本目、2本目の管が大きく移動し、継手の離脱等もこの箇所に集中している。この傾向をもとに、ここでは図5.2に示すように曲管の変位に伴って直近の管だけが動く（最も厳しい）条件を仮定して継手の伸出し量を計算し、離脱に至る曲管の限界変位を求める。



【曲管の変位発生時】

- (1) 曲管近傍の継手が大きく屈曲するとともに、曲管の移動に伴う管心距離の増加分の伸び出しも生じる。
- (2) 継手は離脱阻止性を有しないので、変位が大きくなると曲管前後の継手が離脱する。

図5.2 柔構造継手管路の曲管の限界変位

計算は曲管継手の屈曲に着目し、模式的に図5.3に示す。曲管継手背面側の最大継手伸び量は、真直に抜け出す量 E_1 と屈曲による抜け出し量 E_2 の和になり、それぞれ次式により求めることができる。

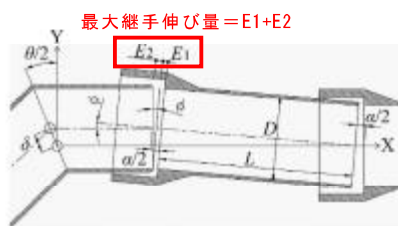


図5.3 屈曲した継手部

$$E_1 = \frac{\alpha}{2} - \frac{D}{2} \times \sin \phi$$

$$E_2 = D \times \sin \phi$$

$$\alpha = \sqrt{\left(L + \delta \times \sin \frac{\theta}{2}\right)^2 + \left(\delta \times \cos \frac{\theta}{2}\right)^2} - L$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{L + \delta \times \sin \frac{\theta}{2}}{L + \alpha} \right)$$

ここで、

α : 曲管が移動して伸びた管中心距離、 D : 管の外径、 ϕ : 継手屈曲角度、

L : 曲管に接続された管の長さ、 δ : 曲管の移動量、 θ : 曲管角度

である。

曲管が背面側へ移動（ δ ）したとき、曲管に接続された管だけが屈曲（ ϕ ）し、管中心距離の伸び（ α ）は屈曲した管の両側の継手で等分に負担すると仮定する。この考え方で求めた曲管継手（背面側）の最大伸び量（ E_1+E_2 ）が、挿し口先端が所定の位置からゴム輪まで抜け出す法になるときを曲管の限界変位とする。

図1.7.20 限界変位の算出

液化化におけるパイプラインの耐震化向上技術 設計・施工マニュアル
管路屈曲部の耐震工法 （神戸大学、茨城大学、農研機構）

曲管の最大継手伸び量は、真直に抜け出す量E1と屈曲による抜け出しE2の和であり、その値は、以下に示すPC管、DCIP管それぞれの規格ごとの最大伸び量（抜け出し量）とする。

表 1.7. 17 PC 管の継手性能（PC 管協会 HP から引用）

継手性能表

(mm)

呼び径	S 形			C 形			NC形			
	基準値	抜出量	曲げ強度	基準値	抜出量	曲げ強度	基準値	抜出量	曲げ強度	
	X	Q	θ	X	Q	θ	X	Q	θ	
500	8	70	6°00'	-	-	-	-	-	-	
600	10		5°30'							
700			5°00'							
800			4°30'							
900			4°00'							
1000	12	80	4°00'	18	-	-	-	-	-	
1100			3°30'							
1200			3°30'							
1350			3°00'							
1500			3°20'							
1650	14	100	3°00'	8	23	0°37'	58	-	2°03'	
1800			2°50'							
2000			2°30'							
2100			1°50'							
2200	15	80	2°00'	23	0°33'	5	58	-	1°24'	
2300			125							2°40'
2400			80							1°30'
2600			-							-
2800	-	-	-	30	0°34'	66	-	-	1°28'	
3000	-	-	-							0°32'
									1°15'	
									1°10'	

注1. 曲げ角度 θ 、抜出量 Q は最大値です。

注2. 外圧管は、この数値の1/2程度を許容値とするのが一般的です。

注3. 管の内面側で内径(抜け出し量)を決定する場合は、上記の数値にS形は基準値 x を、

C形は8mmを、NC形は5mmを加えて下さい。

注4. S形、NC形の抜出量は液状化地震で想定される永久ひずみの最大値1.5%を満足しています。

PC管の最大抜け出し量は、表中のφ2100（S形）の抜け出し量80mmの1/2として40mmとした。

表 1.7. 18 DCIP 管の継手性能（水道施設耐震工法指針 P.38 抜粋）

表-4.2.5 ダクタイル鋳鉄管継手の伸縮（伸び）量												
接合形式	N S 形			S 形（呼び径450以下はSⅡ形）			K 形			U 形		
呼び径	1) 真直配管 時最大 伸び量 ①	許容曲げ 角度	2) 設計照査 用最大 伸び量 ③	1) 真直配管 時最大 伸び量 ①	許容曲げ 角度	2) 設計照査 用最大 伸び量 ③	1) 真直配管 時最大 伸び量 ①	許容曲げ 角度	2) 設計照査 用最大 伸び量 ③	1) 真直配管 時最大 伸び量 ①	許容曲げ 角度	2) 設計照査 用最大 伸び量 ③
mm	mm		mm	mm		mm	mm		mm	mm		mm
75	±45.5	4° 00'	±42	±45.5	4° 00'	±42	40	5° 00'	31	—	—	—
100	〃	〃	±41	〃	〃	±41	〃	〃	29	—	—	—
150	±60.0	〃	±54	±60.5	〃	±54	〃	〃	25	—	—	—
200	〃	〃	±52	〃	〃	±52	〃	〃	20	—	—	—
250	〃	〃	±50	〃	〃	±51	〃	4° 10'	20	—	—	—
300	±69.0	3° 00'	±60	±75.5	3° 00'	±66	64	5° 00'	35	—	—	—
350	±70.0	〃	〃	〃	〃	±65	〃	4° 50'	32	—	—	—
400	±71.0	〃	〃	〃	〃	±63	〃	4° 10'	33	—	—	—
450	±73.0	〃	〃	〃	〃	±62	〃	3° 50'	33	—	—	—
500	±75.0	3° 20'	〃	±77.0	3° 20'	±61	〃	3° 20'	33	—	—	—
600	〃	2° 50'	〃	〃	2° 50'	〃	〃	2° 50'	32	—	—	—
700	〃	2° 30'	〃	〃	2° 30'	〃	〃	2° 30'	〃	64	2° 30'	32
800	〃	2° 10'	〃	〃	2° 10'	〃	〃	2° 10'	〃	〃	2° 10'	〃
900	〃	2° 00'	〃	〃	2° 00'	+60	〃	2° 00'	31	〃	2° 00'	31
1,000	±80.0	1° 50'	〃	±78.5	1° 50'	±61	72	1° 50'	38	67	1° 50'	33
1,100	—	—	—	〃	1° 40'	〃	〃	1° 40'	〃	〃	1° 40'	〃
1,200	—	—	—	〃	1° 30'	±62	〃	1° 30'	39	〃	1° 30'	34
1,350	—	—	—	〃	〃	±60	〃	1° 20'	〃	77	〃	40
1,500	—	—	—	±81.0	〃	〃	〃	1° 10'	40	82	〃	41
1,600	—	—	—	±72.5	〃	±50	85	1° 30'	41	67	1° 10'	33
1,650	—	—	—	〃	〃	〃	90	〃	43	〃	1° 05'	34
1,800	—	—	—	±75.0	〃	〃	95	〃	46	〃	1° 00'	〃
2,000	—	—	—	±77.5	〃	〃	105	〃	51	72	〃	36
2,100	—	—	—	±80.0	〃	±51	110	〃	53	77	〃	39
2,200	—	—	—	〃	〃	±50	115	〃	55	82	〃	42
2,400	—	—	—	±82.5	〃	〃	125	〃	60	92	〃	49
2,600	—	—	—	±85.5	〃	〃	141	〃	70	138	1° 30'	67

注) 1. 表-4.2.5において、K形管及びU形管の「真直配管時最大伸び量」とは、真直ぐに配管した位置から、継手が伸びてゴム輪の端部に管の押し口先端部が一致した時の伸び量であり、図-4.2.8の(1)の①の値をいう。一方、S形管、NS形管及びSⅡ形管の「真直配管時最大伸び量」とは、真直ぐに配管した時の継手伸縮量を表しており、図-4.2.8の(2)のYの値をいう。

2. 表-4.2.5において、「設計照査用最大伸び量」③とは、継手を許容屈曲角度まで曲げて配管した場合の継手の伸び出し量である。

図-4.2.8 ダクタイル鋳鉄管の継手詳細図

DCIP管の最大伸び量は、表中のφ700（K形）の設計照査用最大伸び量32mmとした。設計照査用最大伸び量は、継手を許容屈曲角度まで曲げて配管した場合の継手の伸び出し量であり、真直配管時最大伸び量の1/2程度である。

限界変位の算出結果を以下に示す。PC管では曲管角度30～90° に対して限界変位が72～80mmとなり、角度の変化による差が小さいため、PC管の限界変位は曲管角度に関係なく最小値の72mmに設定した。DCIP管は限界変位が80～165mmと比較的バラツキが大きいため、曲管角度に応じて限界変位80～165mmを設定することとした。

表 1.7. 19 限界変位の算出

【PCφ2100(S形)曲管の限界変位】					許容抜け出し量: 40 mm				
呼び径 (mm)	管外径 (mm)	管長 (mm)	曲管の角度 (°)	α (mm)	ϕ (°)	E1真直 (mm)	E2屈曲 (mm)	E1+E2 (mm)	δ (限界変位) (mm)
2100	2324	4000	30	19.13204	0.986257	0.00	40.00	40.00	72
2100	2324	4000	40	25.81695	0.986232	0.00	40.00	40.00	74
2100	2324	4000	45	29.321	0.986134	0.00	40.00	40.00	75
2100	2324	4000	50	32.96574	0.986205	0.00	40.00	40.00	77
2100	2324	4000	60	40.37268	0.977242	0.37	39.64	40.00	80
2100	2324	4000	70	44.15895	0.883784	4.16	35.85	40.00	76
2100	2324	4000	80	47.66265	0.797462	7.66	32.35	40.00	74
2100	2324	4000	90	50.94524	0.716103	10.95	29.05	40.00	72

【DCIPφ700(K形)曲管の限界変位】					設計照査用最大伸び量: 32 mm				
呼び径 (mm)	管外径 (mm)	管長 (mm)	曲管の角度 (°)	α (mm)	ϕ (°)	E1真直 (mm)	E2屈曲 (mm)	E1+E2 (mm)	δ (限界変位) (mm)
700	733	6000	30	44.70713	1.507659	12.71	19.29	32.00	165
700	733	6000	40	48.35371	1.222737	16.36	15.64	32.00	137
700	733	6000	45	49.77877	1.11217	17.78	14.23	32.00	127
700	733	6000	50	51.00271	1.016379	19.00	13.00	32.00	118
700	733	6000	60	53.02917	0.858309	21.02	10.98	32.00	105
700	733	6000	70	54.63944	0.731784	22.64	9.36	32.00	94
700	733	6000	80	55.98319	0.627144	23.98	8.02	32.00	87
700	733	6000	90	57.11819	0.537779	25.12	6.88	32.00	80

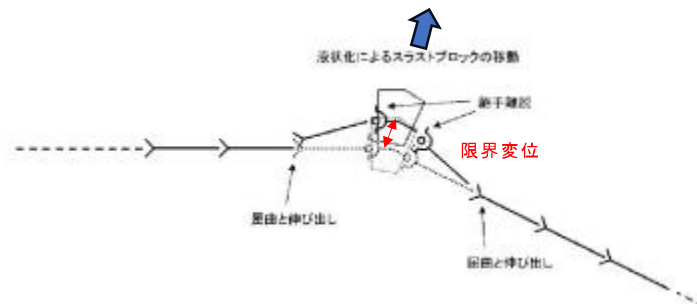


図 1.7. 21 限界変位の模式図

(2) 曲管部の耐震判定

パイプライン全曲管部に対して、耐震解析のケースごとの地震時変位量と限界変位を対比して耐震判定を行った。次ページに耐震判定結果一覧表を示す。

耐震判定の結果、パイプライン曲管部全87箇所のうち、9箇所（PC管5箇所、DCIP管4箇所）が耐震性不足となった。（液状化しやすい[仮想地盤]ケースでは23箇所（PC管6箇所、DCIP管17箇所））

PC管では、耐震性不足となる箇所はある程度限定的であり、スラスト力が1000kNを超える区間（本線最下流φ2100区間の3箇所と東幹線最上流φ1800区間の1箇所）となっている。その他の耐震性不足箇所として、八日市場線のスラストブロックがない1箇所でも耐震性不足となった。（液状化しやすい[仮想地盤]ケースでは東幹線の1箇所も含めて2箇所）

DCIP区間では、曲管角度50°を超える4箇所耐震性不足となった。（液状化しやすい[仮想地盤]ケースでは17箇所）

なお、弁室等の構造物を有する箇所はスラストブロックがある箇所と同等の扱いとした。

表 1.7. 20 平面曲管部 スラスト力・解析ケース・耐震判定結果一覧表

管種	NO	路線、工区	測点NO. +	管径φ (mm)	種別	平面曲がり			合成曲がり	解析 断面	スラスト 有無	可とう管	重要度	備考	設計水圧 (kN/m ²)	スラスト力 P (kN)	ケース	地震時移動量による 耐震判定	
						30° ~40°	40° 以上	50° 以上										減衰化しにくい [硬地盤]	減衰化しやすい [保型地盤]
PC	1	本線第3工区	42	0.692	2100	4種	32° 47' 42"				有	無	Ⅱ		700	1,370	紫	×	×
	2	本線第3工区	46	25.23	2100	4種	31° 30' 00"			●	有	無	Ⅱ		700	1,320	紫	×	×
	3	本線辺田機場工区	47	7.227	2100	4種	31° 29' 40"				有	無	Ⅰ		700	1,320	紫	×	×
	4	東幹線第1工区	1	97.343	1800	3種		43° 08' 10"			有	無	Ⅱ		700	1,310	紫	×	×
	5	東幹線第1工区	4	31.635	1800	2種・3種	31° 23' 38"				有	無	Ⅱ		700	960	紫	○	○
	6	東幹線第1工区	6	55.929	1800	3種	31° 21' 40"				有	無	Ⅱ		700	960	紫	○	○
	7	東幹線第1工区	22	38.305	1800	2種	30° 17' 02"				有	無	Ⅱ		700	930	紫	○	○
	8	東幹線第3工区	58	68.973	1500	2種・1種		42° 16' 40"			有	無	Ⅳ		700	890	紫	○	○
	9	東幹線第4工区	10	85.108	1500	3種	32° 42' 00"				有	無	Ⅱ		700	700	紫	○	○
	10	東幹線第4工区	10	99.368	1500	3種	32° 45' 00"				有	無	Ⅱ		700	700	紫	○	○
	11	東幹線第4工区	14	58.393	1500	2種・3種	33° 35' 30"				有	無	Ⅱ		700	710	紫	○	○
	12	東幹線第4工区	16	64.86	1350	2種・1種		42° 08' 30"			有	無	Ⅱ		700	770	紫	○	○
	13	東幹線第5工区	31	27.36	1350	3種	31° 51' 47"				有	無	Ⅱ		700	590	紫	○	○
	14	東幹線第6工区	39	22.198	1350	2種・SP	30° 33' 17"		34° 40' 00"		(有)	有	Ⅱ	空気弁室、可とう管は下流側	700	570	紫	○	○
	15	東幹線第7工区	51	44.763	1350	2種	34° 43' 00"				有	無	Ⅱ		700	640	紫	○	○
	16	東幹線第7工区	59	0	1350	2種		52° 32' 53"			有	無	Ⅱ		700	950	紫	○	○
	17	東幹線第10工区	101	81.719	1000	3種	36° 35' 10"				有	無	Ⅳ		700	350	D	○	○
	18	東幹線第11工区	117	74.227	900	2種	36° 32' 35"				有	無	Ⅳ		700	290	C	○	○
	19	八日市場第1工区	124	78.07	800	3種		63° 02' 02"			有	無	Ⅱ		700	390	D	○	○
	20	八日市場第1工区	125	8.832	800	3種		90° 02' 27"			有	無	Ⅱ		700	500	D	○	○
	21	八日市場第1工区	125	35.278	800	3種・鋼管		85° 00' 00"			無	無	Ⅱ		700	480	G	×	×
	22	東幹線第1工区 (その2)	0	19.538	600	3種		40° 54' 00"			(有)	無	Ⅳ	排有り	700	140	B	○	○
	23	東幹線第1工区 (その2)	0	25.47	600	3種		45° 00' 00"			無	無	Ⅳ		700	150	G	○	×
	24	織幡線第2工区	10	91.395	600	3種		42° 50' 50"			有	無	Ⅱ		700	140	B	○	○
	25	織幡線第2工区	11	39.045	600	3種			51° 00' 40"		有	無	Ⅱ		700	170	E	○	○
	26	織幡線第2工区	18	75.553	500	3種			52° 00' 00"		有	無	Ⅳ		700	120	B	○	○
	27	織幡線第2工区	18	89.653	500	3種		41° 30' 00"			有	無	Ⅳ		700	100	A	○	○
	28	高萩線第1工区	0	31.3	500	3種		45° 00' 00"			有	無	Ⅳ		700	110	B	○	○
	29	西幹線第1工区	4	39.127	1500	鋼管・2種	34° 25' 25"				有	無	Ⅱ		700	730	E	○	○
	30	西幹線第1工区	22	64.837	1500	3種	30° 07' 47"				有	無	Ⅰ		700	640	E	○	○
	31	西幹線第2工区	35	10.879	1350	3種		42° 34' 33"			有	無	Ⅱ		700	780	E	○	○
	32	西幹線第2工区	40	95.208	1350	鋼管・3種	39° 47' 30"		40° 27' 35"		有	有	Ⅱ	可とう管は上流側	700	730	E	○	○
	33	西幹線第3工区	49	60.45	1350	3種・2種		43° 58' 49"	44° 07' 09"		(有)	無	Ⅳ	空気弁室、押輪継手	700	810	E	○	○
	34	西幹線第4工区	64	24.599	1350	3種	32° 38' 27"				有	無	Ⅱ		700	610	E	○	○
	35	西幹線第5工区	73	49.155	1350	推進・3種	38° 40' 19"				(有)	無	Ⅰ	排泥弁工	700	710	E	○	○
	36	西幹線第5工区	83	66.498	1200	3種	35° 01' 30"				有	無	Ⅱ		700	480	D	○	○
	37	西幹線第6工区	86	12.24	1000	3種・2種	31° 19' 32"				(有)	無	Ⅱ	分土工	700	300	C	○	○
	38	西幹線第6工区	92	7.462	1000	3種		44° 55' 25"			有	無	Ⅱ		700	420	D	○	○
	39	西幹線第7工区	102	95.756	800	3種	32° 17' 10"				有	無	Ⅱ		700	200	B	○	○
	40	西幹線第7工区	105	82.435	800	3種	38° 59' 50"				有	無	Ⅱ		700	230	C	○	○
	41	西幹線第7工区	105	89.937	800	3種	39° 00' 00"				有	無	Ⅱ		700	230	C	○	○
	42	西幹線第7工区	106	54.954	800	3種		45° 18' 05"			有	無	Ⅱ		700	270	C	○	○
	43	西幹線第7工区	106	60.584	800	3種		45° 18' 05"			有	無	Ⅱ		700	270	C	○	○
	44	西幹線第7工区	108	51.262	800	3種		48° 12' 40"			(有)	無	Ⅱ	分土工	700	290	C	○	○
	45	西幹線第7工区	115	48.95	600	3種・2種		43° 30' 00"			有	無	Ⅳ		700	150	B	○	○
	46	西幹線第7工区	115	57.074	600	2種		43° 30' 00"			有	無	Ⅳ		700	150	B	○	○
	47	田良貝線第2工区	22	42.862	600	3種・ダク		52° 53' 00"	53° 09' 58"		(有)	有	Ⅳ	空気弁室	700	180	B	○	○
	48	田良貝線第3工区	24	59.486	600	3種		54° 52' 50"			有	無	Ⅳ		700	180	B	○	○
	49	田良貝線第3工区	25	68.58	600	3種	39° 57' 47"				有	無	Ⅳ		700	140	B	○	○

表 1.7. 21 平面曲管部 スラスト力・解析ケース・耐震判定結果一覧表

管種	NO	路線、工区	測点NO. +	管径φ (mm)	種別	平面曲がり			合成曲がり	解析 断面	スラスト 有無	可とう管	重要度	備考	設計水圧 (kN/m2)	スラスト力 P (kN)	ケース	地震時移動量による 耐震判定	
						30° ~40°	40° 以上	50° 以上										液状化しにくい [硬地盤]	液状化しやすい [軟弱地盤]
DCIP	1	八日市場第1工区	121	44.535	800	3種			81° 25' 35"		有	無	IV		700	460	D	○	○
	2	八日市場第1工区	123	60.735	800	3種			57° 16' 55"		有	無	IV		700	340	D	○	○
	3	八日市場第1工区	125	52.428	800	4種			78° 24' 05"		有	無	II		700	440	D	○	○
	4	八日市場第1工区	125	80.048	800, 900	4種・推進	38° 20' 00"			57° 55' 21"	(有)	無	II	空気弁室	700	230	C	○	○
	5	八日市場第2工区	126	91.518	600	4種		49° 28' 50"			有	無	IV		700	170	B	○	○
	6	八日市場第2工区	127	41.848	600	4種		47° 15' 20"			有	無	IV		700	160	B	○	○
	7	八日市場第2工区	127	69.123	600	4種		49° 23' 45"			有	無	IV		700	170	B	○	○
	8	八日市場第2工区	128	41.697	600	4種		49° 09' 15"			有	無	IV		700	160	B	○	○
	9	八日市場第3工区	133	24.682	600	4種・3種	32° 43' 45"				有	無	IV		700	110	B	○	○
	10	八日市場第3工区	134	30.854	600	3種・4種		46° 16' 00"			有	無	IV		700	160	A	○	○
	11	八日市場第3工区	139	3.108	600	3種	33° 27' 31"				有	無	II		700	110	B	○	○
	12	高萩線第1工区	5	41.975	400	3種		43° 45' 38"			有	無	II		700	70	A	○	○
	13	高萩線第1工区	9	87.925	400	3種		45° 00' 00"			無	無	II		700	70	G	○	×
	14	高萩線第1工区	11	1.455	400	推進・3種		49° 28' 25"			(有)	無	II	空気弁室	700	70	A	○	○
	15	高萩線第1工区	14	54.475	400	3種		45° 00' 00"			無	無	II		700	70	G	○	×
	16	高萩線第2工区	18	99.115	400	3種	34° 32' 50"				有	無	II		700	50	A	○	○
	17	高萩線第2工区	24	90.875	400	3種・鋼管	42° 04' 37"				(有)	無	II	空気弁室	700	60	A	○	○
	18	北幹線第1工区	0	0.739	600	4種		45° 00' 00"			(有)	無	IV	空気弁室	700	150	B	○	○
	19	北幹線第1工区	0	5.315	600	4種		76° 23' 00"			無	無	II		700	240	G	○	×
	20	北幹線第1工区	21	90.764	600	4種		45° 00' 00"			無	無	II		700	150	G	○	×
	21	北幹線第2工区	34	75.606	600	4種		43° 59' 00"			(有)	無	II	空気弁室	700	150	B	○	○
	22	北幹線第3工区	38	47.336	600	4種			89° 58' 00"		無	無	II		700	280	G	×	×
	23	北幹線第3工区	39	23.505	600	4種			85° 24' 30"		(有)	無	II	空気弁室	700	270	C	○	○
	24	北幹線第3工区	39	63.05	600	4種			57° 19' 00"		無	無	II		700	190	G	×	×
	25	田良貝線第1工区	0	40.217	700	4種			90° 00' 00"	●	無	無	II		700	380	G	×	×
	26	田良貝線第1工区	5	37.48	600	4種	39° 23' 40"				無	無	II		700	130	G	○	×
	27	田良貝線第1工区	5	43.48	600	4種	39° 23' 40"				無	無	II		700	130	G	○	×
	28	田良貝線第1工区	6	98.895	600	4種		40° 51' 50"			(有)	無	II	排泥工	700	140	B	○	○
	29	田良貝線第1工区	7	49.095	600	4種	38° 34' 20"				無	無	II		700	130	G	○	×
	30	田良貝線第1工区	9	1.48	600	4種	38° 32' 20"				(有)	無	II	空気弁室	700	130	B	○	○
	31	田良貝線第1工区	14	27.083	600	4種	29° 00' 00"				無	無	I		700	100	G	○	×
	32	田良貝線第1工区	14	78.375	600	4種	35° 15' 00"				無	無	I		700	120	G	○	×
	33	田良貝線第1工区	15	7.869	600	4種		44° 22' 00"			無	無	I		700	150	G	○	×
	34	田良貝線第1工区	15	54.466	600	4種			52° 04' 00"		無	無	I		700	170	G	×	×
	35	田良貝線第2工区	17	2.711	600	4種			60° 15' 40"		無	有	I		700	200	G	○	×
	36	田良貝線第2工区	19	9.648	600	4種		48° 06' 20"			無	有	IV		700	160	G	○	×
	37	田良貝線第2工区	19	37.954	600	4種	34° 54' 19"				無	無	IV		700	120	G	○	×
	38	田良貝線第2工区	20	61.671	600	4種		41° 51' 12"			(有)	無	II	チゲ・クワ分水工空気弁室	700	140	B	○	○
【耐震判定：○となる条件】											有	68	5	※弁室等の構造物を有する箇所は、スラスト力等を有する箇所と同等の扱いとする			耐震判定の集計		
①可とう管がある											無	19	82						
②スラストブロックがある場合は、水平変位量が72mm以下（φ2100曲管角度30°～90°の限界変位の最小値）											合計	87	87						
③DCIPの水平変位量が80～165mm以下（φ700曲管角度30°～90°それぞれの限界変位）																	合計	87	87

■スラストブロックあり：ケース区分、水平変位、耐震判定									
スラスト力 P (kN)	該当 ケース数	スラスト力 P (kN)	該当 ケース数	ケース	地震時 水平変位量 (mm)		耐震判定		許容値 72mm
					液状化しにくい [硬地盤]	液状化しやすい [軟弱地盤]	許容値 72mm	許容値 72mm	
0 ~ 100	5	0 ~ 100	5	A	0	0.02	○		
100 ~ 200	23	100 ~ 200	23	B	0	0.03	○		
200 ~ 300	9	200 ~ 300	9	C	0	0.06	○		
300 ~ 400	3						○		
400 ~ 500	5	300 ~ 500	8	D	0	0.08	○		
500 ~ 600	2								
600 ~ 700	5								
700 ~ 800	8								
800 ~ 900	2								
900 ~ 1000	4	500 ~ 1000	19	E	35.06	71.12	○		
1000 ~ 1100	0								
1100 ~ 1200	0								
1200 ~ 1300	0								
1300 ~ 1400	4	1000 ~ 1400	4	F	150.34	218.17	×		
合計	68	合計	68	6	-	-	-	-	-

■スラストブロックなし：ケース区分、水平変位、耐震判定									
スラスト力 P (kN)	該当 ケース数	スラスト力 P (kN)	該当 ケース数	ケース	地震時 水平変位量 (mm)		耐震判定		許容値 72mm
					液状化しにくい [硬地盤]	液状化しやすい [軟弱地盤]	許容値 72mm	許容値 72mm	
0 ~ 100	3	0 ~ 100	3						
100 ~ 200	12	100 ~ 200	12						
200 ~ 300	2	200 ~ 300	2						
300 ~ 400	1								
400 ~ 500	1	300 ~ 500	2						
500 ~ 600	0								
600 ~ 700	0								
700 ~ 800	0								
800 ~ 900	0								
900 ~ 1000	0	500 ~ 1000	0						
1000 ~ 1100	0								
1100 ~ 1200	0								
1200 ~ 1300	0								
1300 ~ 1400	0	1000 ~ 1400	0	G	110.62	324.60			
合計	19	合計	19	1	-	-	-	-	-

※重要度IV、Vの施設は耐震対策を必要としない施設に位置づけられるが、本検討ではバイブレーション管部の全体的な耐震性の傾向・分布を把握する目的として、重要度IV、Vも耐震解析と評価の対象とした。

(3) 地震時変位量が耐震性不足となる平面曲管部の位置

平面曲管部の耐震解析の結果、耐震性能不足（地震時変位量＜限界変位）により継手離脱の事前対策が必要と考えられる曲管部の位置図を以下に示す。

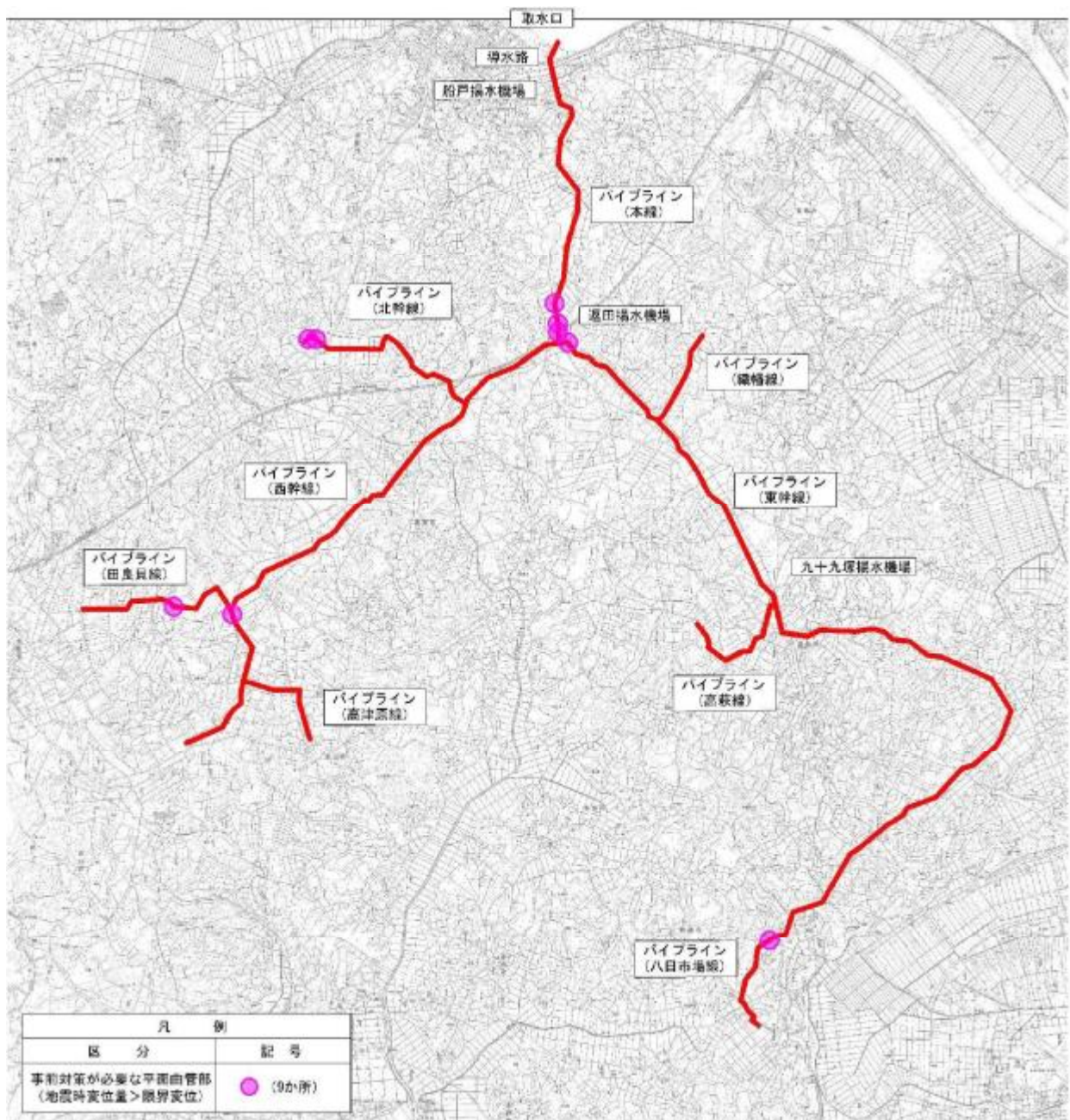


図 1.7. 22 事前対策が必要な平面曲管部の位置

1.7.5 曲管部の耐震対策（案）

パイプラインのウィークポイントとなる、平面的な曲管部、縦断的な曲管部及び分岐管や構造物との接続部の耐震化について、事前対策として適用可能と考えられる耐震対策工法を整理した。次ページにパイプライン曲管部、接続部等の耐震対策工法（案）の比較表を示す。これらのうち、箇所ごとの埋設条件（管種、管径、構造）、施工条件（停水、土部利用）等に応じて、コストも考慮して最適な工法を選定する。

- (1) 地盤改良（埋戻し土）の施工
- (2) 伸縮可とう管（継手）の設置
- (3) 内面バンド（止水バンド）の設置
- (4) 鎖構造継手への変更

(1) 地盤改良（埋戻し土）の施工

管周辺の埋戻し土を液状化抵抗が大きい地盤に改良する。地盤固化により耐震化が図れる。

(2) 伸縮可とう管（継手）の設置

伸縮・屈曲性と離脱防止性能を有する耐震継手（伸縮可とう管）を設置する。



図 1.7. 23 伸縮可とう管（継手）の例

(3) 内面バンド（止水バンド）の設置

φ800以上の管径に対して、内面から伸縮性を有する止水バンドを設置して耐震化を図る。

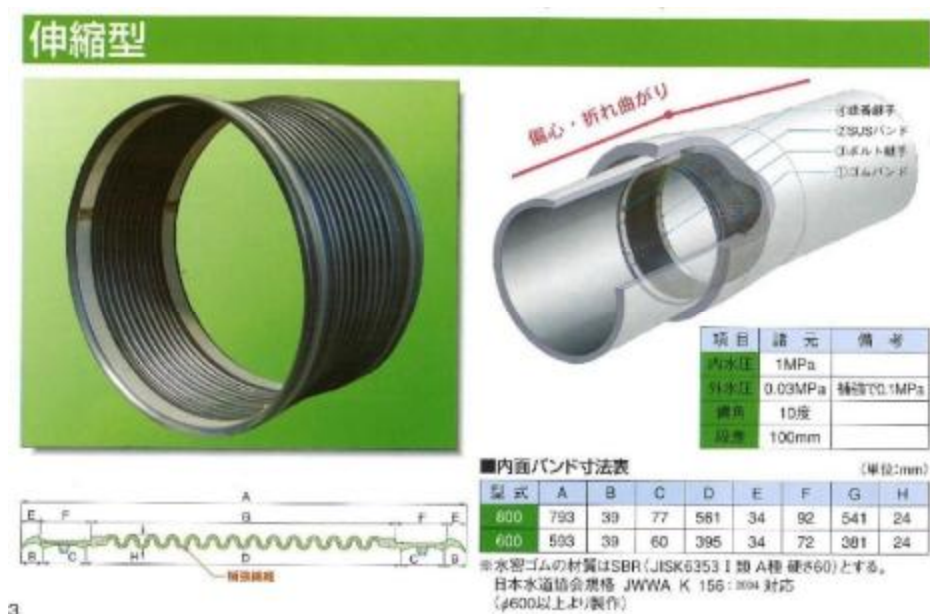


図 1.7. 24 内面バンド（止水バンド）の例

(4) 鎖構造継手への変更

曲管部等の柔構造継手を、伸縮・屈曲性と離脱防止性能を有する鎖構造継手（NS型、GX形などのDCIP管）に置き換え、屈曲部に生じる変位に追従して継手離脱を生じない管路構造を構築する。

(1) 目的

異形管部や構造物ぎわの耐震補強を目的として、図 1.2 のように一般の柔構造継手に替えて鎖構造継手を部分的に適用する。これにより、埋戻し材料や現地盤に液状化や地割れ等の大変形が生じたときでもスラスト力による管の離脱を防止し、通水機能を確保できる。

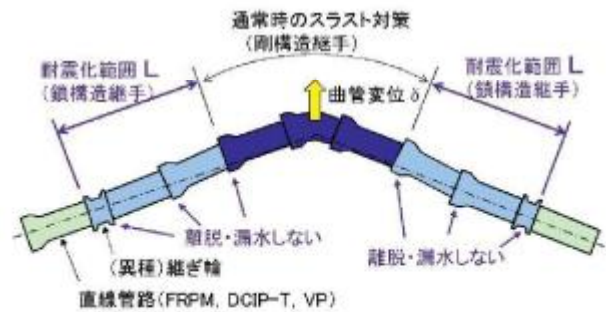


図 1.2 工法の構成模式図

- ①柔構造継手：FRPM 管、PVC 管、T 形・K 形ダクタイル鉄管など、農業用パイプラインに一般に用いられる継手。伸縮可とう性を有し地盤の動きに追従するが、限界伸び量を超えると離脱する。



柔構造（T形継手）

- ②鎖構造継手：大きな伸縮可とう性に加えて離脱防止性能を有する NS 形・GX 形などのダクタイル鉄管継手。耐震、耐地盤変動用に用いられる。上水道管路としては 56,000km の布設延長があるが、過去の大地震での被害はない。



鎖構造（NS形直管継手）

- ③剛構造継手：伸縮も屈曲もしない継手。鎖構造管路の異形管継手は必ず剛構造であり、前後の直管と一体化してスラスト力に抵抗する。スラスト抵抗力が不足する場合は剛構造の継手箇所を増やして一体化範囲を拡大する。



剛構造（NS形異形管継手）

図 1.7. 25 限界変位の模式図

表 1.7. 22 パイプライン曲管部、接続部等の耐震対策工法（一次選定）

	地盤改良（埋戻し土）	伸縮可とう管（継手）	内面バンド（止水バンド）	鎖構造継手
概要図	北総東部用水の震災対策（復旧）事例			
工法概要	地盤固化により管周辺の埋戻し土の受働抵抗を増大させて曲管部の変位を抑制する。液状化抵抗も向上する。	伸縮・屈曲性と離脱防止性能を有する耐震継手（伸縮可とう管）を設置する。	φ800以上の管径に対して、内面から伸縮性を有する止水バンドを設置して耐震化を図る。	曲管部等の柔構造継手を、伸縮・屈曲性と離脱防止性能を有する鎖構造継手（NS形、GX形などのDCIP管）に置き換え、屈曲部に生じる変位に追従して継手離脱を生じない管路構造を構築する。
適用条件	○管種・管径を問わず、平面曲管部や構造物との接続部に適用可能。 △縦断曲管部では施工が難しく効果が得られにくい。	○継ぎ輪を介して幅広い管種・管径に適用可能。 △構造物との接続部や弁室等の曲管部には採用できない。	△管内面からの施工となるため、進入可能なφ800以上の管径に適用可能。（本地区のDCIP管区間はφ800以下であるため採用できない） △構造物との接続部や弁室等の曲管部には採用できない。	○一般の柔構造継手の曲管部に適用可能。 △構造物との接続部や弁室等の曲管部には採用できない。
耐震性能	○液状化抵抗、地盤強度を向上させることで管や構造物の地震時変位を抑制できる。 △均一な品質管理が困難であり、施工精度によって耐震効果にややバラツキを生じる可能性がある。	○可とう性能が大きく耐震性に優れる。 【例：φ700mm】 ・偏心（段差） 100～500mm ・屈曲角度 30° ・伸縮量 400mm ・離脱防止性能 3D kN以上 ※D:管径(mm)	△可とう性能が比較的小さい。 【例：伸縮タイプ】 ・偏心（段差） 100mm ・屈曲角度 10° ・伸縮量 -	○耐震化延長に応じて大きな変位に対応できる。 【例：曲管許容変位量 400mm以上*】 ※目安として曲管変位量400mm以上を確保できる構造とし、液状化地盤では別途液状化対策を講ずる必要がある ※継手ごとの可とう性能は、それぞれの継手構造に準ずる
施工性	○土工（掘削、埋戻し）や配管作業がなく施工性に優れる。 ○停水しなくても施工可能。 △上部土地利用の状況によっては施工できない可能性がある。	△土工（掘削、埋戻し）や配管作業が生じるため施工性に劣る。 △停水が必要。 △上部土地利用の状況によっては施工できない可能性がある。	○土工（掘削、埋戻し）や配管作業がなく施工性に優れる。 ○上部土地利用の状況に関係なく施工できる。 △停水が必要。	△土工（掘削、埋戻し）や配管作業が生じるため施工性に劣る。 △停水が必要。 △上部土地利用の状況によっては施工できない可能性がある。
維持管理性	○改良体の維持管理は不要である。	○パイプラインと同等の耐用年数40年が見込め、その間は定期点検（漏水試験、試験調査等）と必要に応じて補修を行う。	△一般的に耐用年数が20～30年であり、その間の定期点検（漏水試験、内面調査等）に加え、取替が必要である。	○パイプラインと同等の耐用年数40年が見込め、その間は定期点検（漏水試験、試験調査等）と必要に応じて補修を行う。
老朽化対策（更新時）との組合せ	△老朽化対策で管を更新する場合には、耐震性能の確実性に優れる他工法を選定するのが望ましい。	○老朽化対策で管を更新する際にあわせて施工すれば効率・効果が大きい。	△老朽化対策で管を更新する場合には、耐震性能、耐用年数に優れる他工法を選定するのが望ましい。	○老朽化対策で管を更新する際にあわせて施工すれば効率・効果が大きい。
適用性	○施工性に優れるため、当面の期間、現状のパイプラインを使用する場合において、平面曲管部の耐震補強として適する工法である。	△高い耐震性能を有するが、施工性に劣る*ため適さない。 ○新設配管時では、縦断曲管部等で伸縮可とう管で耐震性を確保する事例は多い。 ※老朽化対策（管更新時）と合わせればメリット大	△施工性に優れる*が、耐震性能が低く耐用年数も短い*ため適さない。 ※施工条件（停水、進入路あり）が良い場合に限る	△高い耐震性能を有するが、施工性に劣る*ため適さない。 ※老朽化対策（管更新時）と合わせればメリット大