

平成 15 年 5 月 15 日
中央建鉄株式会社中央技術研究所

CADAP-Jr.の検討手法の適応性についての検証結果報告

CADAP-Jr.の影響範囲の検討手法は、以下に示す技術指針等の検討手法を採用しているため、検討結果の適応性についてはすでに実証されていると考えられる。また、これらの予測手法のほとんどが実測結果から回帰的に予測手法を求めているため、おのずと現実に近い結果が得られるはずである。

CADAP-Jr の基本となる技術指針

工事種別	技術指針	内容
開削工事	建設省土木研究所	近接基礎設計施工要領の近接程度の範囲
	Peck（ペック）	掘削と沈下量の関係図表
	地下水	ティームの井戸公式
	独自式	第 38 回地盤工学研究発表
シールド・推進工事	Limanov(リマノフ)	地表沈下量と影響範囲の関係
	Peck（ペック）	地表沈下量と影響範囲の関係
	Limanov+森式	第 12 回地盤工学研究発表
盛土工事	日本道路協会	盛土の沈下形状と側方への影響
	Michell	Michell の応力算定式（文献）
振動工事	建設省土木研究所	振動距離減衰式
	環境庁方式	振動距離減衰式
	散布上限法（独自）	実測値の散布図による検証

しかし、新工法の開発等の技術革新、実際に適用する地盤条件などにより、必ずしも良い適応性を示さない場合もある。

ここでは、当社で実際に沈下障害が発生した事例や、文献などで紹介された実測例との比較検討を行い、現時点の適応性を再度評価した。

評価した手法は比較的使用頻度が高い以下の 3 手法について行った。

【評価対象手法と適応性の概要】

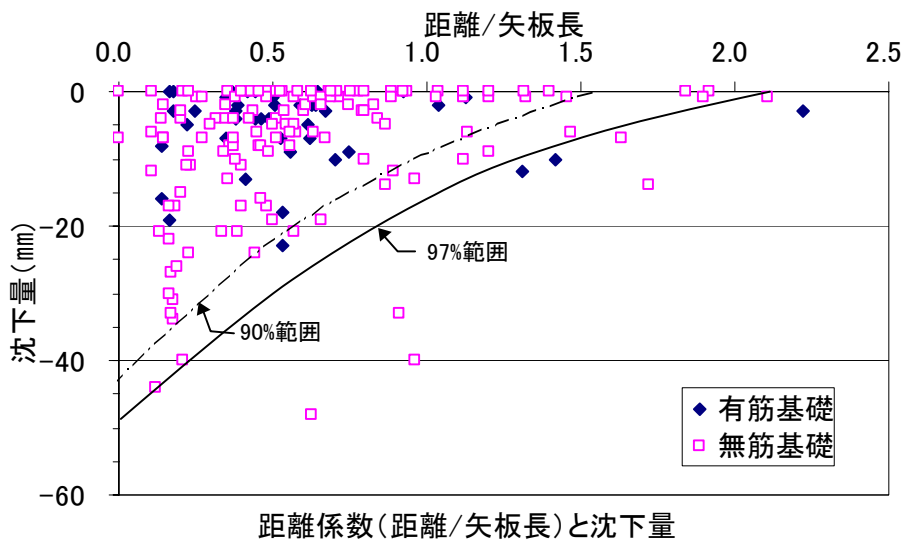
- ① 開削工事（建設省土木研究所）及び（独自法）
 - ・ 適応範囲においては 90%以上の適応性があった。
- ② シールド・推進工事（Limanov）（Limanov+森式）
 - ・ 開放型のシールドでは適応性が高い。
 - ・ 密閉型のシールドの場合過大傾向にあり実測値は計算値の約 70%程度
 - ・ 何れの形式でも影響範囲の適合性は良い。
- ③ 振動工事（建設省土木研究所）
 - ・ 発生源から 20m 付近において実測値との差が 3dB 以下で約 6 割、 5dB 以下で約 9 割の適合性があり、良い適合性を示した。

1. 開削工事（建設省土木研究所）及び（独自法）

文献では近接施工要領の検討手法の適応性について
「これらの手法による判定結果と現場での計測結果を比較し、一致することを示している。」
「二次元土槽での実験によると、土留壁の変位が通常の撓み変形に近い場合は対数らせんが、また平行移動や下端変位が大きい場合には $45^\circ + \phi/2$ の直線が合っている事を確認している。」1993VOL.21..NO10 基礎工（建設省土木研究所 構造橋梁部 基礎研究室長 中野 正則他）と紹介され、土木研究所で実測結果との比較検証がなされている。

また、当社で工事後の被害現況調査を分析した結果、以下のように、ほぼ土留矢板長の約 1.5 倍までが範囲が生ずる範囲である結果が得られた。これらの対象となった建設工事は、東京都内の沖積低地（軟弱な粘性土地盤）の中小規模開削工事である。

近接基礎設計施工要領の影響程度の判定によると、粘性土地盤で土留矢板が支持地盤に根入れされていない場合の影響範囲は、土留矢板長の $\sqrt{2}$ （1.41）倍であることから、上記実測結果と良く適合している事がわかる。



【結論】

以上から、CADAP-Jr.の適応範囲においては90%以上の適応性がある。

適応範囲

- ☆ 掘削深さ及び掘削幅約10m程度（切梁3段程度）の中小規模の掘削工事
- ☆ 排水工併用や圧密沈下には適さない

2. シールド (Limanov) (Limanov+森式)

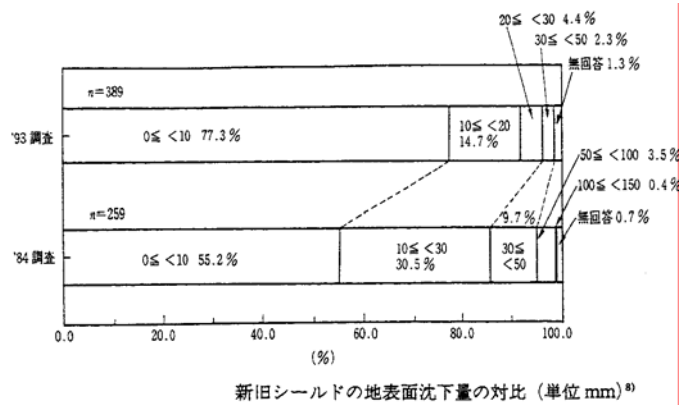
シールド工法による地盤変動は以下の要因項目により生じるといわれている。

- ① 地下水低下
- ② 切羽の崩壊・押込
- ③ テールボイドの発生
- ④ 掘削による地盤の乱れ
- ⑤ シールド通過による地盤の乱れ

このうち特に大きな沈下を生じるのは②と③であるが、密閉型シールドの採用や裏込めの即時注入・施工管理精度の向上などによりこれらの問題を解消し、下図に示すように、近年のシールド工法による周辺地盤への影響は飛躍的に少なくなっている。しかし、全体的に少なくなったとはいえ、周辺建物に被害が生じるといわれる直上の沈下量 30 mm 以上が生じている事例は約 2% 強 (約 9 件) の工事で発生している。

泥水加圧シールドなど、密閉型の様々な工法が採用されることで、これらの効果について紹介される機会が多く、結果的に沈下量が非常に少ない事例が報告されるケースが圧倒的に多い。実際には十数 cm 沈下し大きな被害が生じている工事もあるが、これらは事故的な発生と考えられ、一般の施工事例として紹介される事はほとんどなく、検証の対象にする事は難しい。

ここでは文献に見られる実測の報告例と解析結果を照合し、適応性の評価を試みた。



※1995年7月 「土と基礎」 シールドの掘削と周辺地盤の変状 栗原 和夫ほか P59

以下に、文献で紹介された実測例と同一条件による CADAP-Jr. の検討結果の比較を試みた。

実測例のデータ概要

データ番号	工事種別	場所	発表年	施工年	工法	土被	直径	柱状図	横断面	備考	資料
1	A断面	地下鉄	名古屋市黒川	1972		不明	14.2	6.4	有り	有り	1
2	B断面	地下鉄	名古屋市黒川	1972		不明	16	6.4	有り	有り	
3		下水	東京	1978		不明	4	6	有り	有り	2
4		地下鉄	大坂	1978		不明	15.6	6.97	有り	有り	
5	A断面-1	下水	東京	1980	1979	土圧式	13	8.5	有り	有り	3
6	A断面-2	下水	東京	1980	1979	土圧式	13	8.5	有り	有り	
7	A断面-3	下水	東京	1980	1979	土圧式	13	8.5	有り	有り	
8	B断面-1	下水	東京	1980	1979	土圧式	10	3.5	有り	有り	
9		地下鉄	東京菊川	1980		手掘	15.5	7.3	有り		4
10	例-1	地下鉄	東京	1991		泥水式	24	9.8	有り	有り	
11	例-2	地下鉄	東京	1991		泥水式	13.6	9.8	有り	有り	5
12		東電洞道		1992		土圧式	31.3	3.6	有り		
13		東電洞道	東京江東区	1993		泥水式	25.5	5.55		有り	7
14	長田シールド		長田	1995	1982	土圧式	11.7	6.93		有り	8
15	A断面	東電洞道	東京	1995		泥土圧式	15.11	3.63	有り		9
16		東電洞道	東京大森	1997		泥水式	19	5.1	有り		10

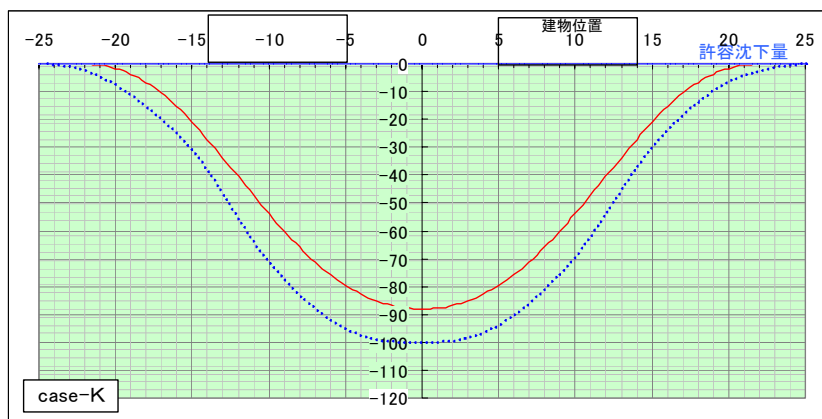
実測例データの出典資料明細

No.	文献名	著者	出典資料名
1	シールドトンネル掘削に伴う地表面沈下と振動特性について	川本 眺 ほか3名	土と基礎 1972.5
2	シールド工法と土質 6. 地盤沈下(1)	竹山 喬 ほか2名	土と基礎 1978.3
3	シールド掘削に伴う地盤沈下と家屋被害について	間方 博之 ほか3名	土と基礎 1980.6
4	トンネル周辺地盤変位計測結果と一考察	桑原 力 ほか1名	土と基礎 1980.12
5	4. 建設工事における環境計測の事例	中島 信	土と基礎 1991.10
6	788. シールド工事による粘性土の圧密沈下を考慮した地盤挙動予測	岡崎 憲治 ほか2名	第27回土質工学会研究発表
7	885. シールド工事に伴う粘性土地盤の変状計測結果と予測解析との適応性	真砂 洋 ほか3名	第28回土質工学会研究発表
8	6. シールドの掘削と周辺地盤の変状	橋本 正 ほか3名	土と基礎 1995.8
9	6. シールドの掘削と周辺地盤の変状	大塚 正博 ほか3名	土と基礎 1995.9
10	1028 洪積砂質土地盤中のシールド掘進に伴う地盤の変状計測	伊藤 浩史 ほか1名	第32回土質工学会研究発表

CADAP-Jr.による計算結果との比較と適応性の評価(詳細は別紙対照グラフ参照)

No.	工法	沈下量			H/D	地盤条件	適合性評価				
		実測	計算	再現率			沈下量	範囲	形状	適用度	
1	不明	48	48	100%	2.22	洪積	粘性土	◎	◎	◎	◎
2	不明	45	48	94%	2.50	洪積	粘性土	◎	○	◎	◎
3	不明	52	33	158%	0.67	沖積	互層	○	やや大	○	○
4	不明	40	39	103%	2.24	沖積	互層	○	大	×	△
5	土圧式	130	81	160%	1.53	沖積	粘性土	小	◎	△	○
6	土圧式	75	76	99%	1.53	沖積	粘性土	小	◎	○	○
7	土圧式	140	116	121%	1.53	沖積	粘性土	◎	○	△	○
8	土圧式	105	50	210%	2.86	沖積	砂質土	小	過小	×	×
9	手掘	18	35	51%	2.12	沖積	粘性土	大	-	-	△
10	泥水式	4	44	9%	2.45	洪積	砂質土	大	やや大	△	×
11	泥水式	32	75	43%	1.39	沖積	互層	大	やや大	△	×
12	土圧式	6	8	75%	8.69	沖積	粘性土	◎	-	-	○
13	泥水式	15	20	75%	4.59	沖積	粘性土	◎	やや大	◎	○
14	土圧式	30	50	60%	1.69	沖積	粘性土	大	○	○	△
15	泥土圧式	18	20	90%	4.16	沖積	互層	◎	-	-	○
16	泥水式	2	20	10%	3.73	洪積	砂質土	大	-	-	×

以下には同様に、当社で被害調査を行った最近の沈下事例を示した。



現在、補償問題の処理中であるため具体的な実測値は公表されていないが、シールド直上で約10cm程度、被害調査の結果から影響範囲が約22m、建物位置での不同沈下量が約5～6cmである事から、上図点線でしめす沈下量が発生していると考えられる。当該工事の施工条件を考慮して検討した結果は傾向性を良く示しているものの、解析結果よりも過大な沈下が生じていると考えられる。

【総合評価】

文献の実測例の比較によると、1～4の実測例は年代などから開放型のシールドと考えられ、適応性が高い。計算値は掘削による切羽の緩みとテールボイドによる沈下量を対象に計算しているので、密閉型で裏込め即時注入を行うシールド例を見ると、初期（5～8）に比べ、最近例では計算値が過大傾向である事が良くわかる。しかし、実測例の沈下量が大きくなるに従い適応性が良くなる傾向があることと、影響範囲については比較的良い適応性を示していることから、**CADAP-Jr.**が事前調査の範囲検討を行う事が目的である事を考えると、安全側の評価方法であり実用的な手法であると考えられる。

- ◆ 泥水式・土圧式の場合、実測値は計算値の約70%程度と考えられる。
- ◆ 砂質土地盤ではバラツキが大きく適応性が良くない。
- ◆ 複線シールドの評価には不適
- ◆ 粘性土地盤の場合でH/D比が大きな場合は良い適応性を示す。
- ◆ 裏込めの即時注入の場合、開放率を10%程度の設定が比較的適応性が良い。
- ◆ 砂質土地盤の強度評価により大きく差が生じている。

【解析に当たっての注意点】

- ◆ 砂質土地盤の場合、強度評価（弾性係数）の設定に注意する。
- ◆ クリアランス σ は開放率10%程度（約1cm）程度を標準とするが、注入状況や緩い砂質土の場合などは大きくなる傾向があるので注意する。

【結論】

- ☆ 開放型のシールドでは適応性が高い。
- ☆ 密閉型のシールドの場合過大傾向にあり実測値は計算値の約70%程度
- ☆ 何れの形式でも影響範囲の適合性は良い

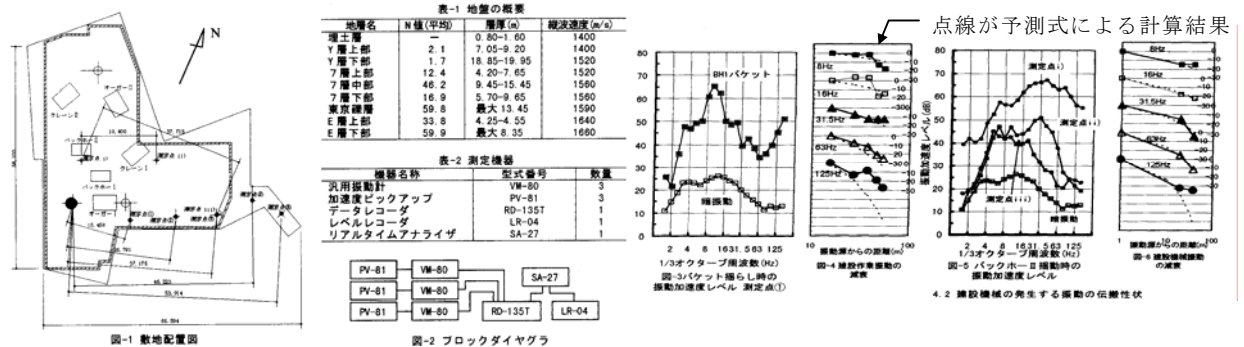
3. 振動工事（建設省土木研究所）

この距離減衰の試算式も現場計測の結果から、回帰式を求めて提案している式であるので、多くの実測事例との照合がすでになされているが、CADAP-Jr.に登録されている実測データに基づき計算結果との比較を行った結果を以下に示す。

実測データと計算値の比較（詳細は別紙対照グラフ参照）

No.	作業名	データNo.	表面波	実体波	複合波
1	バイブロハンマー杭打	38			0.04
2	バイブロハンマー杭打	40	0.04		0.01
3	バックホウ掘削	168			0.01
4	バックホウ掘削	335			0.04
5	ブルドーザー走行	252		0.04	
6	ブルドーザー走行	255		0.04	0.04
7	高周波バイブロ杭打	111	0.01		
8	プレボーリングバイブロ杭打	127	不適		

波形ごとに最も減衰傾向が良く適応する場合の土の内部摩擦係数を示した。実測データの土質条件が明確でないので確定は出来ないがこの結果から見ると、複合波として取り扱い、造成若しくは軟弱地盤の土の内部摩擦係数 0.04 ケースが良い適応性がある。また、以下には最近発表された文献の内、実測例との照合を行っている例を示した。

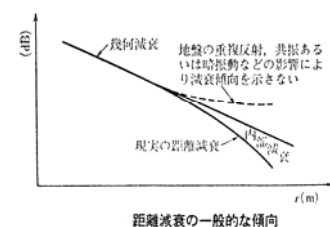


1998年9月日本建築学会大会学術講演梗概集
「軟弱地盤における建設振動の測定事例」高松 幸雄ほか PP297~298

文中にもあるように、この伝播予測式は建物への影響が生じやすい、比較的低い周波数帯域では、実際の減衰傾向を良く表している。

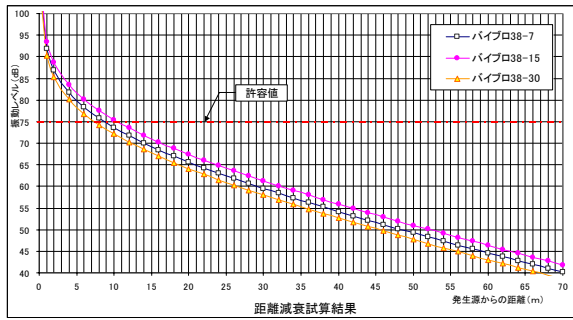
複合波として扱う事が実測結果と良く適合しているが、範囲検討においては、地表面近くで尚且つ近距離の作業の場合、表面波として扱うほうが安全側となる。また同作業の幾つかのデータによって比較した上で検討する必要がある。

また、地盤条件によっては単純に減衰するばかりではなく、右記のような共振・重複反射に関しては、適用条件が示すようにこの伝播予測式では現象を再現できないので注意を要する。

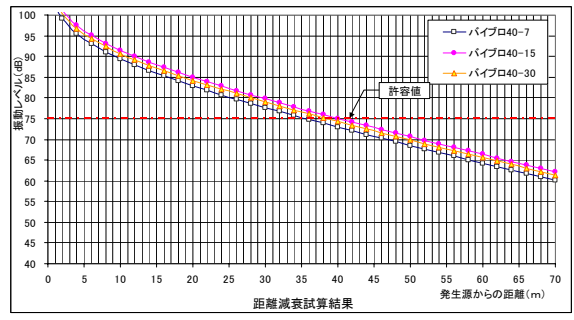


【結論】

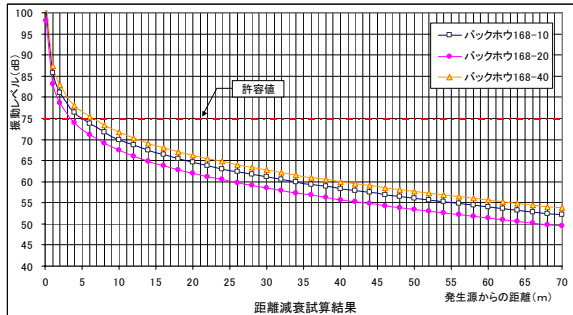
発生源から 20m 付近において実測値との差が 3dB 以下で約 6 割、5dB 以下で約 9 割の適合性があり、良い適合性を示す。



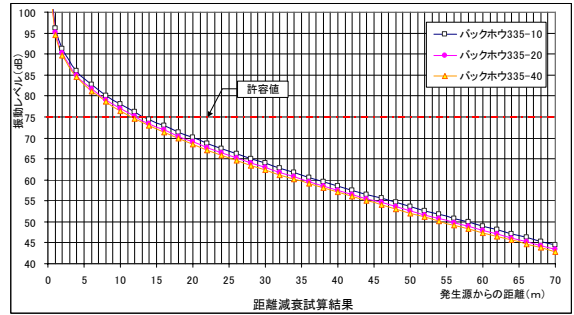
CASE-1 複合波 内部摩擦係数 0.04



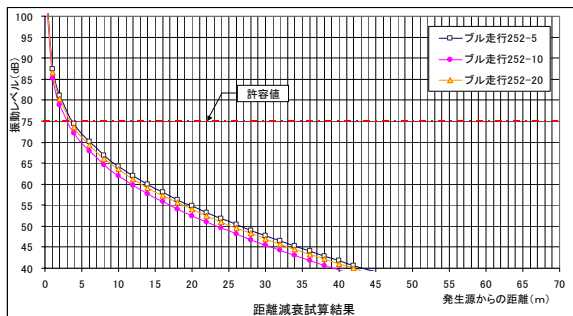
CASE-2 表面波 内部摩擦係数 0.04



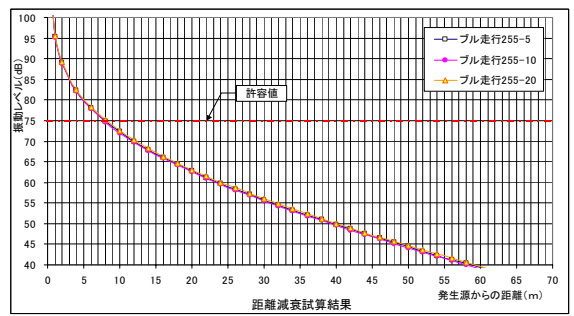
CASE-3 複合波 内部摩擦係数 0.01



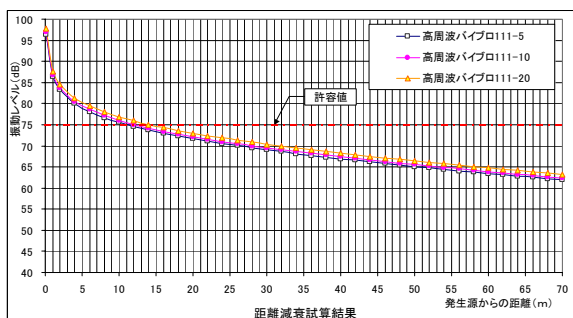
CASE-4 複合波 内部摩擦係数 0.04



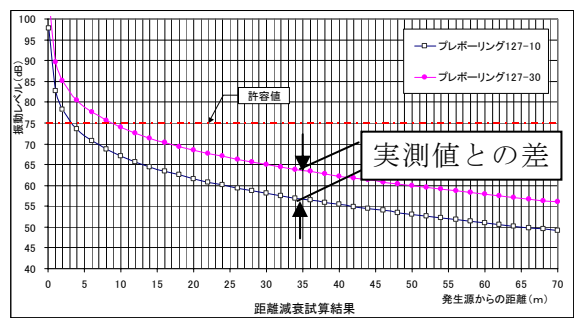
CASE-5 実体波 内部摩擦係数 0.04



CASE-6 実体波 内部摩擦係数 0.04

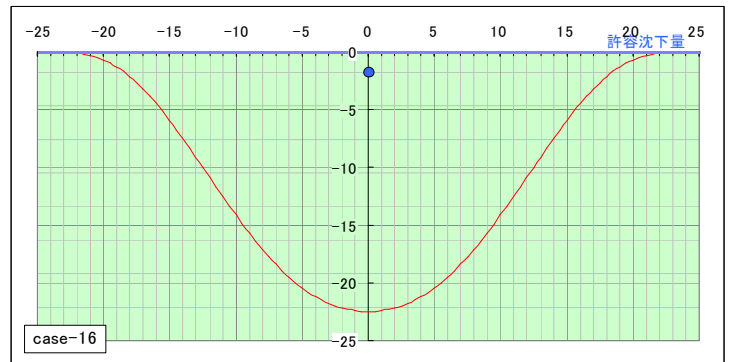
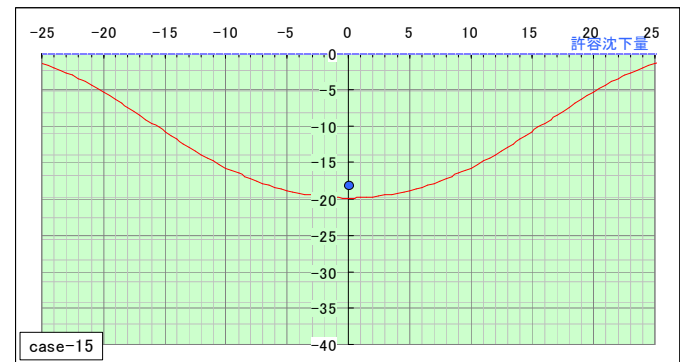
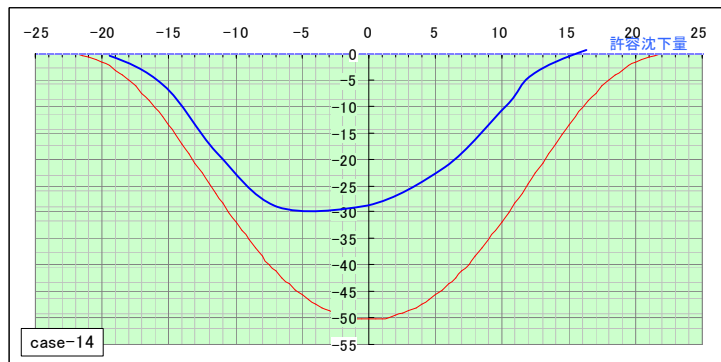
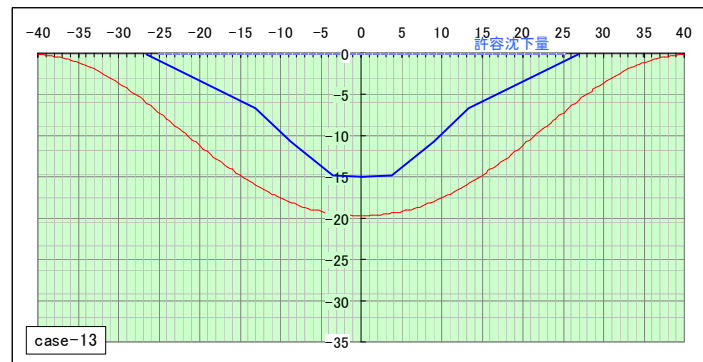
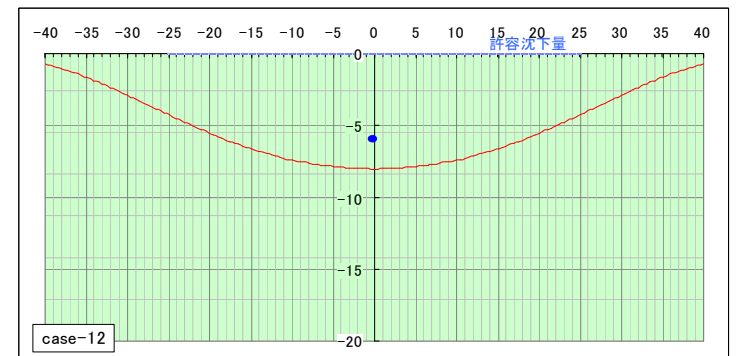
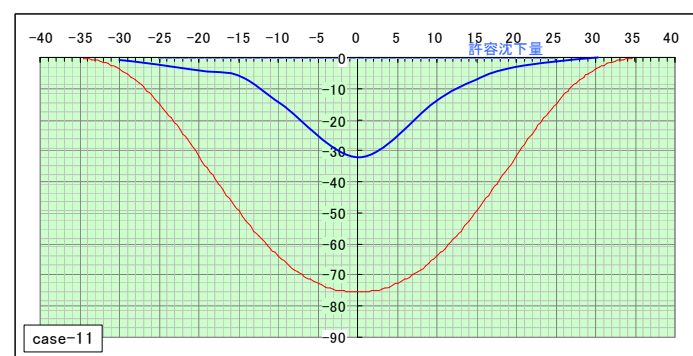
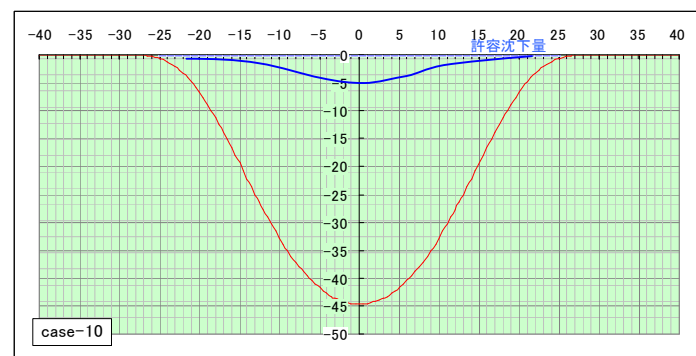
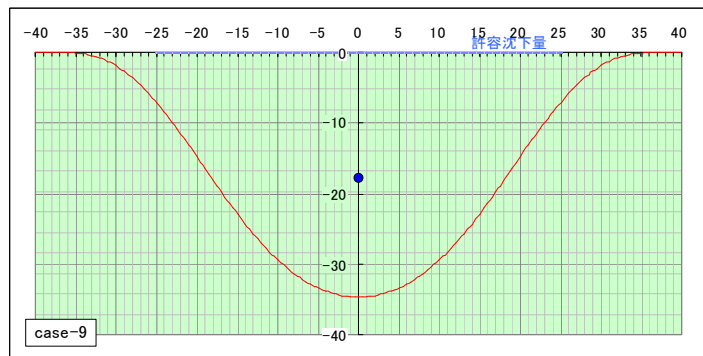
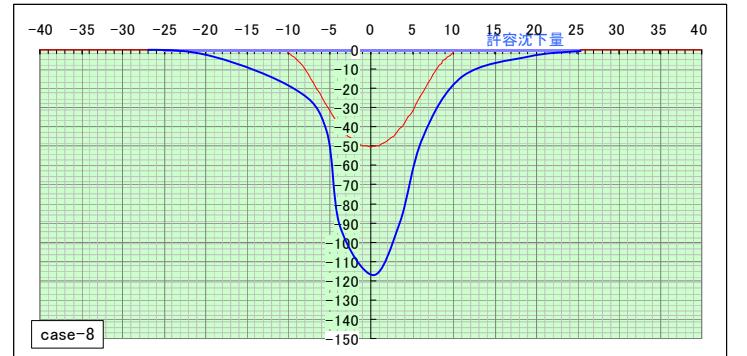
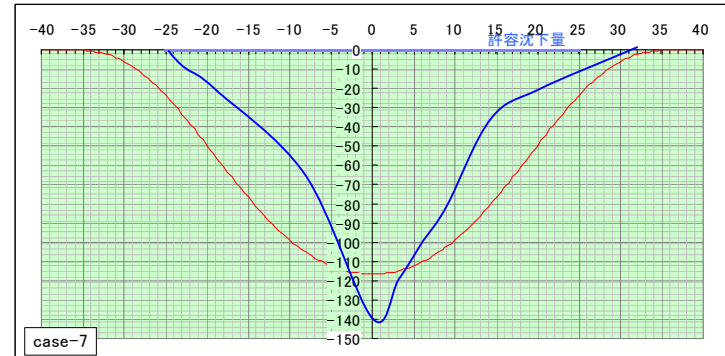
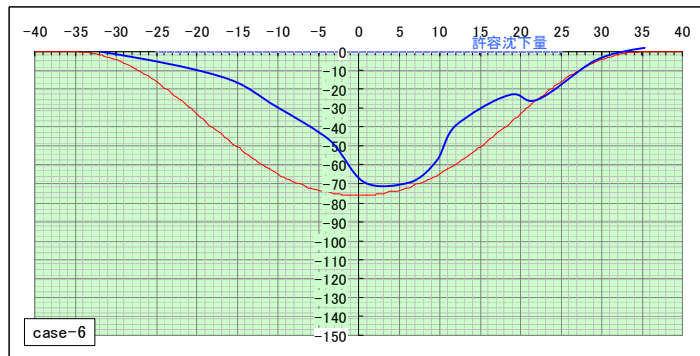
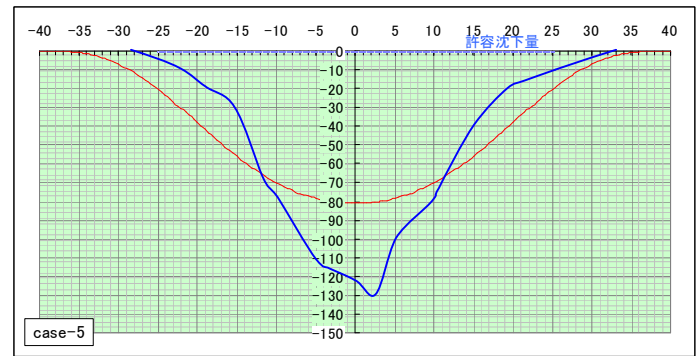
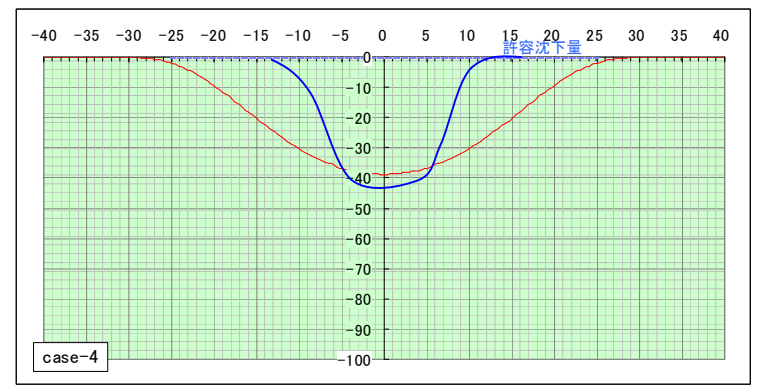
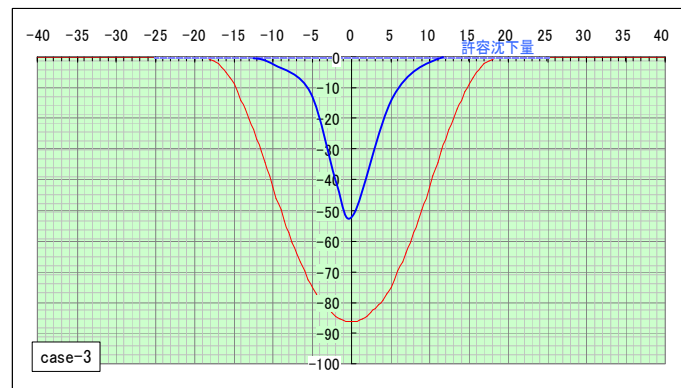
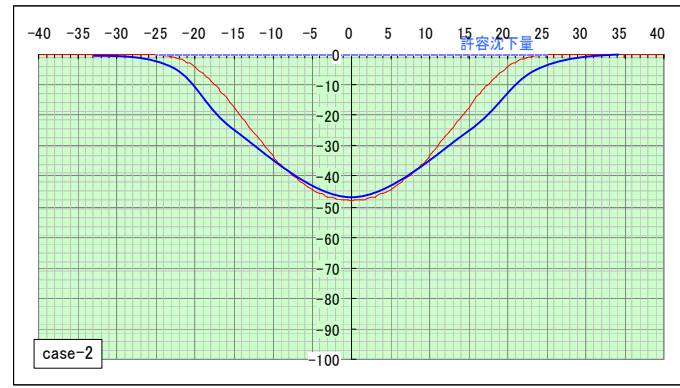
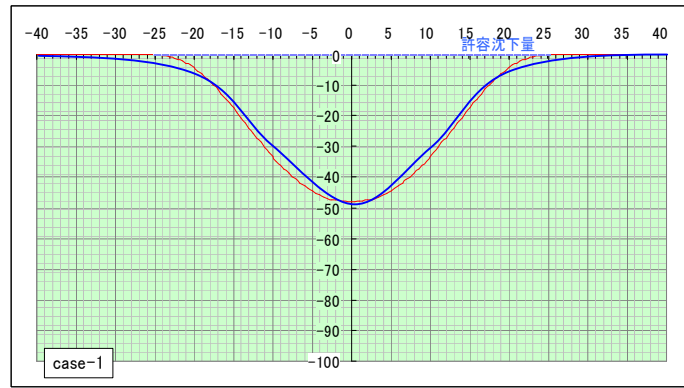


CASE-7 表面波 内部摩擦係数 0.01



CASE-8 複合波 内部摩擦係数 0.01

比較検討は同一工事の同時実測値をそれぞれ減衰計算式に代入し各実測値ごとの減衰傾向をそれぞれグラフに表した。例えば3点測定している場合各算定グラフが合致すれば実測結果と予測式の結果が同じ減衰傾向を示す事となる。よって上記グラフのズレ分が実測値と計算結果との誤差分となる。



凡例： — 又は ● は実測値を示す。 — は予測計算結果を示す。