ＩＳＳＮ　0386 － 5878
土木研究所資料第3862号

土 木 研 究 所 資 料

天ヶ瀬ダム放流設備低周波音予測検討報告書

平成14年２月

独 立 行 政 法 人 土 木 研 究 所
水工研究グループダム水理チーム

Copyright©(2002) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3862号2002年2月

天ヶ瀬ダム放流設備低周波音予測検討報告書

水工研究グループダム水理チーム　主任研究員　小野　雅人
上席研究員　柏井　条介

要　旨

天ヶ瀬ダムは、昭和 39 年に淀川水系宇治川に建設されたアーチ式コンクリートダムであり、放流能力増強のために左岸地山部にトンネル式放流設備の新設が計画されている。トンネル式放流設備については既に水理模型実験を実施しており、これまでの検討により、トンネル内跳水現象により発生する低周波音の基本的な特性、発生音圧及び周波数特性の予測手法を明らかにした。

本報告書は、新設放流設備放流時の発生音について、既設放流設備放流音との比較を行うとともに、既設放流設備ならびに新設放流設備から放流した場合の低周波音の伝搬予測結果を取りまとめたものである。

キーワード：空中放流、現地観測、低周波音、点音源、伝搬予測計算

目　　次

1. はじめに …… 1
2. 天ヶ瀬ダム再開発計画の概要 …… 2
　2.1 既設ダムの概要 …… 2
　2.2 再開発後の天ヶ瀬ダムの治水計画（案） …… 2
3. 検討の概要 …… 11
4. 既設放流設備（コンジット）の放流音特性 …… 12
　4.1 現地観測の概要 …… 12
　4.2 放流音特性の推定 …… 19
　　4.2.1 音の伝搬に関する基本式 …… 19
　　4.2.2 使用データ …… 20
　　4.2.3 音源位置 …… 20
　　4.2.4 音響パワーレベル …… 21
　　4.2.5 音源の周波数特性 …… 24
　4.3 新設放流設備の放流音特性との比較 …… 28
　　4.3.1 音響パワーレベル …… 28
　　4.3.2 音源の周波数特性 …… 29
5. 低周波音の伝搬予測計算 …… 31
　5.1 地形データ …… 31
　5.2 低周波音の伝搬予測計算手法 …… 31
　5.3 既設放流設備における放流音特性の検証 …… 32
　5.4 大流量放流時における低周波音の伝搬予測 …… 32
6. おわりに …… 53
参考文献 …… 54
付図 …… 55

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、昭和 39 年に淀川水系宇治川に建設された洪水調節、京都府への水道用水の供給、天ヶ瀬発電所における発電を目的としたアーチ式コンクリートダムであるが、昭和 46 年の「淀川水系工事実施基本計画」の改定により、ダムの運用法の変更が計画され、新設放流設備による放流能力の増強が必要となっている。アーチ式ダムでは、既設のダム堤体に放流設備を新設することが困難と考えられたことから、このための施設として地山内に設けるトンネル式放流設備が計画されている。

この新設放流設備の放流時に発生する低周波音については、これまでに水理模型実験及び現地観測による検討により、発生音圧及び周波数特性の予測手法が明らかとなっている。

本報告書は、天ヶ瀬ダムに計画されている新設放流設備放流時の発生音について、既設放流設備の放流音特性との比較を行うとともに、既設放流設備ならびに新設放流設備から放流した場合の低周波音の伝搬予測結果を取りまとめたものである。

2. 天ヶ瀬ダム再開発計画の概要

2.1 既設ダムの概要

琵琶湖から流出する河川は瀬田川ただ一つである。瀬田川は瀬田川洗堰の直下流で大戸川を合わせ鹿跳で大石川・信楽川を集めて京都府に入ると、宇治川と呼ばれる。天ヶ瀬ダムから宇治市を経て山城盆地を流下して八幡市に至る宇治川は、ここで宇治川・桂川・木津川の三川が合流して淀川となって、大阪平野を南西へ流下して大阪湾に注いでいる（図-2.1）。この流域は、近畿地方における社会・経済・文化の基盤として、京都を始め、古代より数々の都が栄え、日本史の舞台となってきた。

昭和 28 年の台風 13 号は、淀川に未曾有の大洪水をもたらし、宇治川は破堤し、沿岸地域に莫大な被害をもたらした。これを契機として淀川水系の治水計画を抜本的に改定する必要が生じ、天ヶ瀬ダム等による洪水調節を根幹とする「淀川水系改修基本計画」が昭和 29 年に策定され、ダム建設の運びとなった。

天ヶ瀬ダムは、この計画に基づき淀川の洪水調節・京都府への水道用水の供給・天ヶ瀬発電所における発電を目的として昭和 34 年に着工し、総工費 65 億円を投じて昭和 39 年に完成した多目的ダムである。既設の天ヶ瀬ダムの洪水調節方法は、基準点である枚方の計画高水流量を 6,950m^3/s とするため、大雨が降る前に予備放流により、あらかじめ天ヶ瀬ダムの水位を最大で O.P.58m の間で低下させ、上流から流れ込んでくる計画高水流量 1,360m^3/s の洪水を 900m^3/s に調節して放流するものである（表-2.1, 図-2.2）。

また、天ヶ瀬ダムの放流設備及び減勢池の概要は、写真-2.1, 図-2.6～2.8 に示すとおりである。天ヶ瀬ダムは前述したとおりアーチ式ダムであり、減勢方法は落下水脈をダム直下の減勢池内で水中拡散させ、水中での乱れによってエネルギーの減殺を行う一般のアーチ式に見られる方式である。

2.2 再開発後の天ヶ瀬ダムの治水計画（案）

淀川本川枚方地点の基本高水流量を 17,000m^3/s、計画高水流量を 12,000m^3/s とし、その差 5,000m^3/s について、天ヶ瀬ダムをはじめとする上流ダム群で調節する。

天ヶ瀬ダムは、ダム地点の計画高水流量 2,300m^3/s のうち 1,100m^3/s の洪水調節を行い、宇治地点の計画高水流量 1,200m^3/s を安全に流下させる。また、琵琶湖の後期放流時の最大流入量 1,500m^3/s を安全に流下させる（図-2.3～2.5）。

天ヶ瀬ダムの洪水調節方式は、変則一定率一定量方式とし、洪水調節開始流量は 900m^3/s（840 m^3/s）、計画最大放流量は 1,200 m^3/s（1,140 m^3/s）である。

淀川本川洪水時において、枚方地点の水位が計画水位に達すると予測される場合には、2 次調節を行う。2 次調節の放流量は 660 m^3/s（600 m^3/s）である。洪水調節の後は、速やかに制限水位 O.P.72m まで貯水位を低下させる。

注）（ ）書きは、関西電力宇治発電所放流量 60m^3/s を除いた流量であり、同発電所運転時のダム放流量は（ ）書きの値となる。

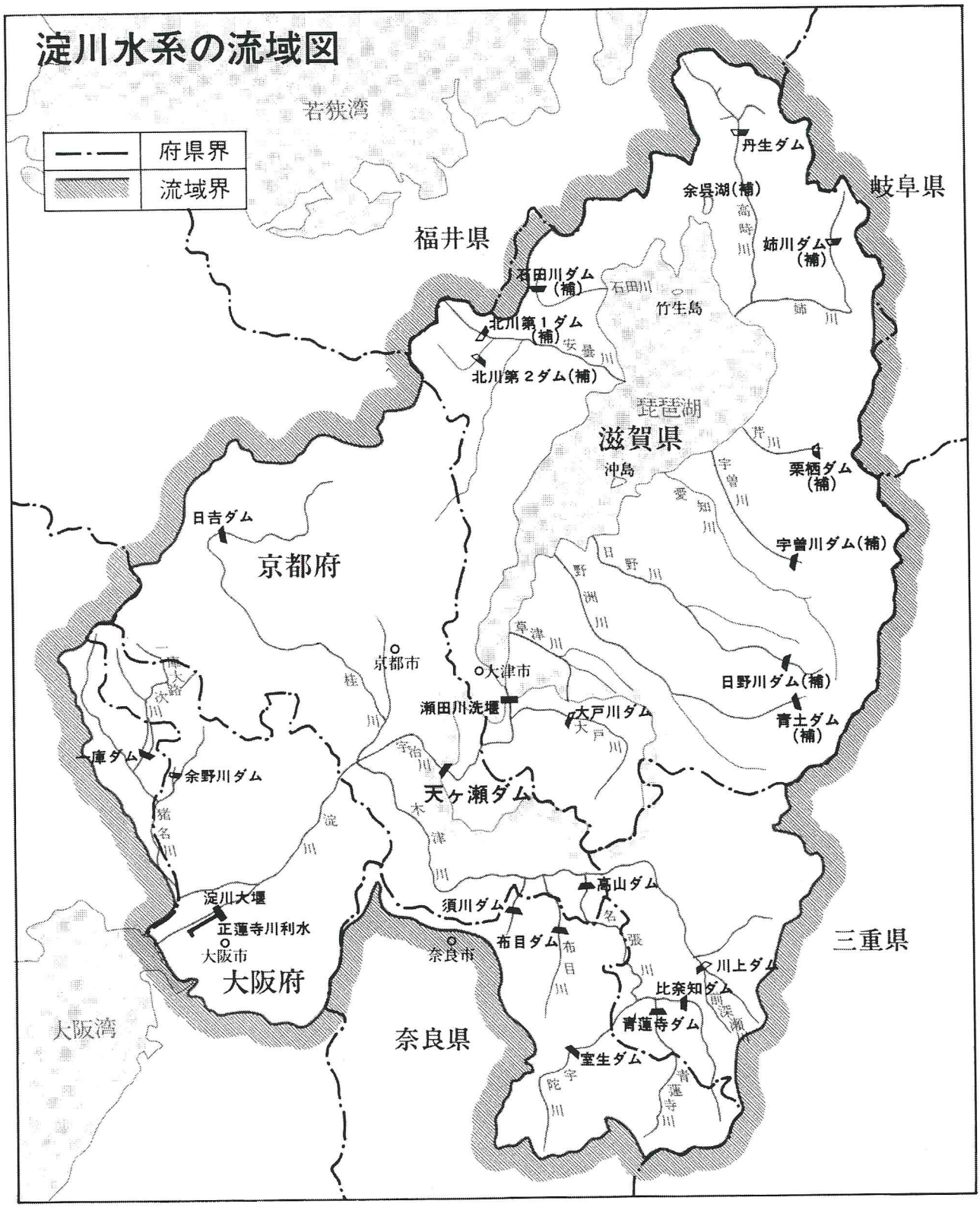


図-2.1　　淀川水系流域図

※パンフレット「天ヶ瀬ダム再開発事業（国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所）」に一部加筆



写真-2.1　　天ヶ瀬ダム全景

表-2.1　天ヶ瀬ダム及び貯水池の諸元

河川名	淀川水系／宇治川
位置	左岸：宇治市槇島町六石山
	右岸：宇治市槇島町槇尾山
流域面積	琵琶湖流域：　3,848km^2
	（内湖面積：674km^2）
	天ヶ瀬ダム流域：352km^2
	（琵琶湖流域を除く）
	計（全流域）：4,200km^2
型式	ドーム型　アーチ式コンクリートダム
堤長	254m
堤高	73m
常用放流設備	3門：放流量　1,110m^3/s（能力）
非常用放流設備	4門：放流量　680m^3/s（能力）
湛水面積	1.88km^2
常時満水位	O.P.　78.5m
洪水期制限水位	O.P.　72.0m (6/16～10/15)
最低水位	O.P.　58.0m
発電最低水位	O.P.　68.6m
利用水深	20.5m
総貯水容量	26,280,000m^3
有効貯水容量	20,000,000m^3
治水容量	20,000,000m^3
利水容量	600,000m^3
発電容量	洪水期　：　3,800,000m^3 (6/16～10/15)
	非洪水期：13,480,000m^3

注）O.P.とはT.P.（東京湾平均海面）－1.300mである。

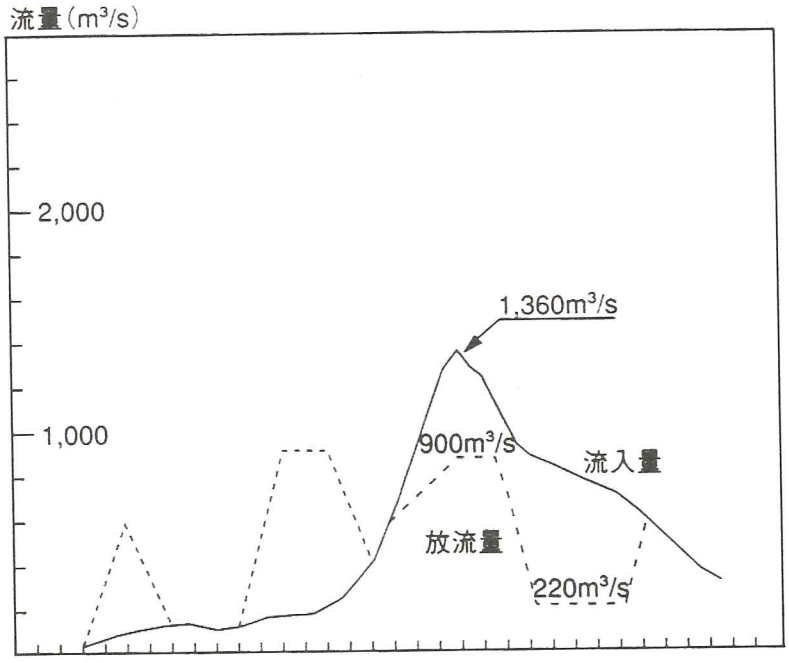


図-2.2　天ヶ瀬ダムにおける洪水調節図

※パンフレット「天ヶ瀬ダム再開発事業（国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所）」より転載

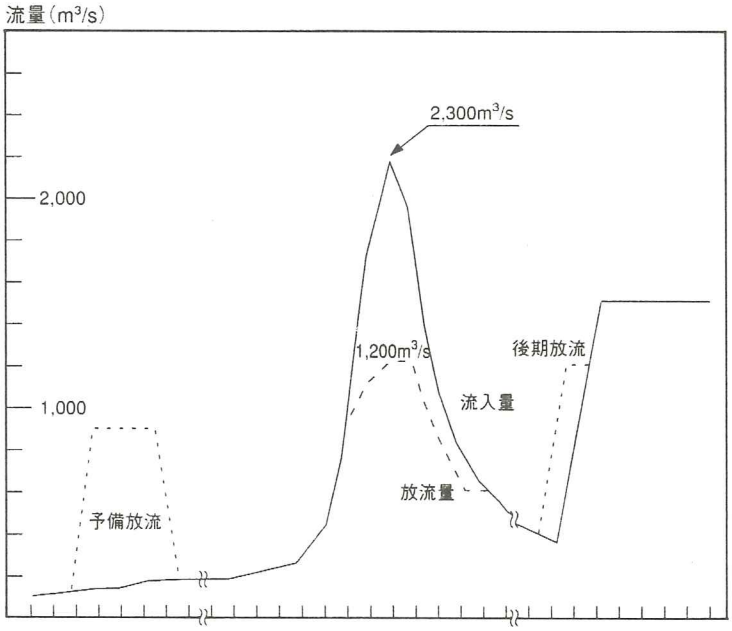


図-2.3　天ヶ瀬ダム再開発における洪水調節図

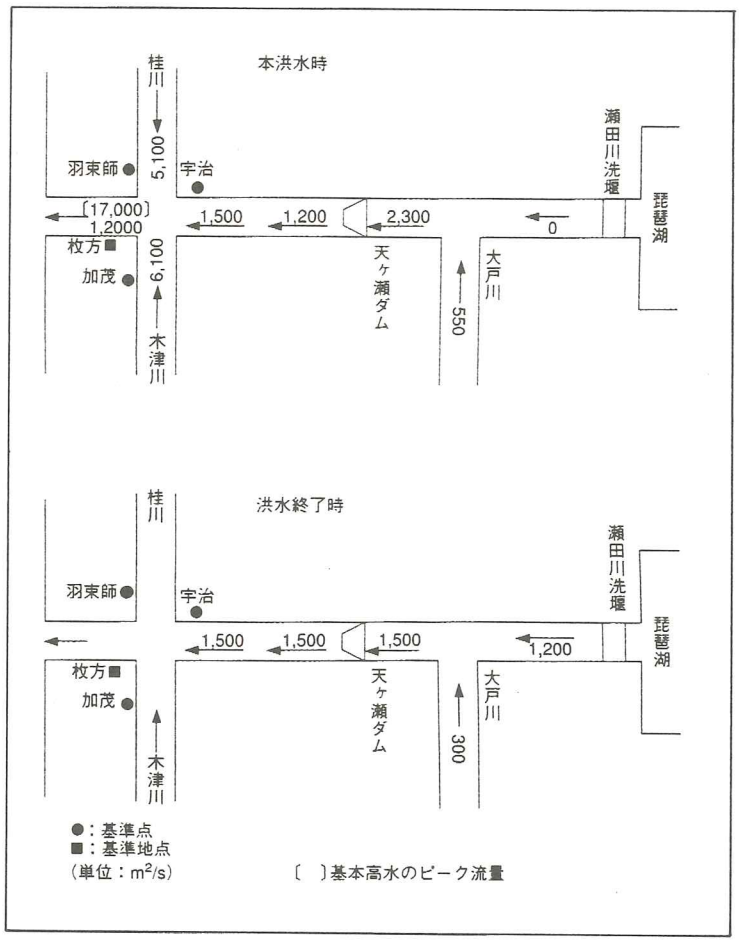


図-2.4　計画高水流量配分図

※パンフレット「天ヶ瀬ダム再開発事業（国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所)」より転載

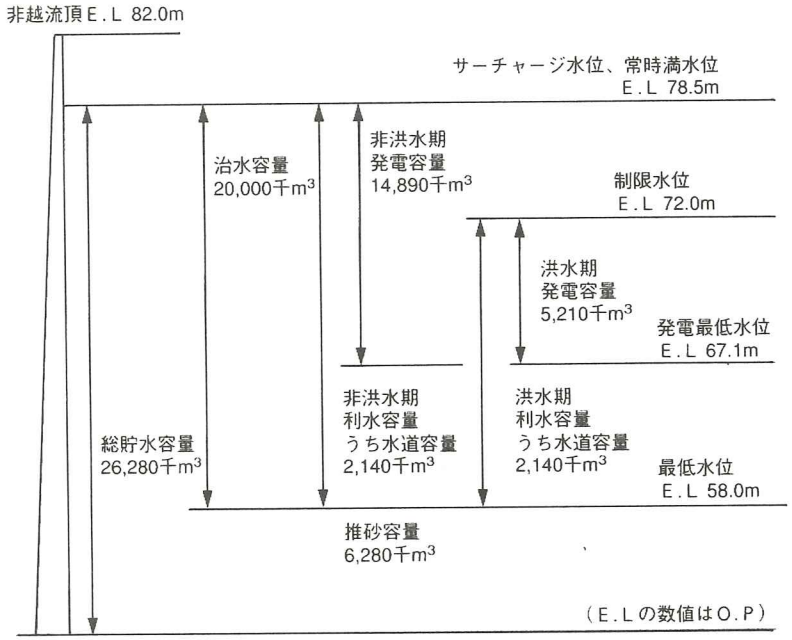


図-2.5　貯水池容量配分図

※パンフレット「天ヶ瀬ダム再開発事業（国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所）」より転載

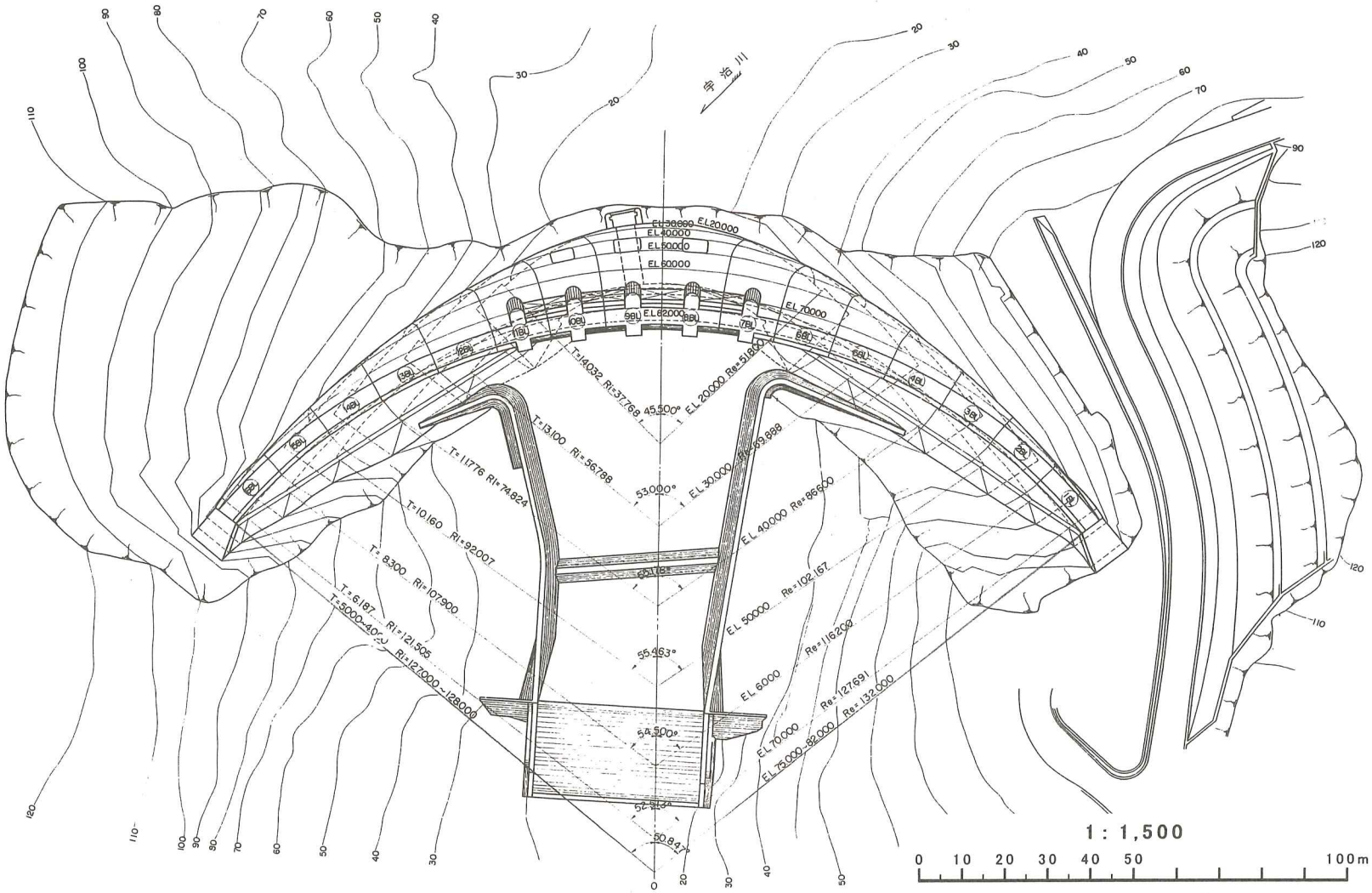
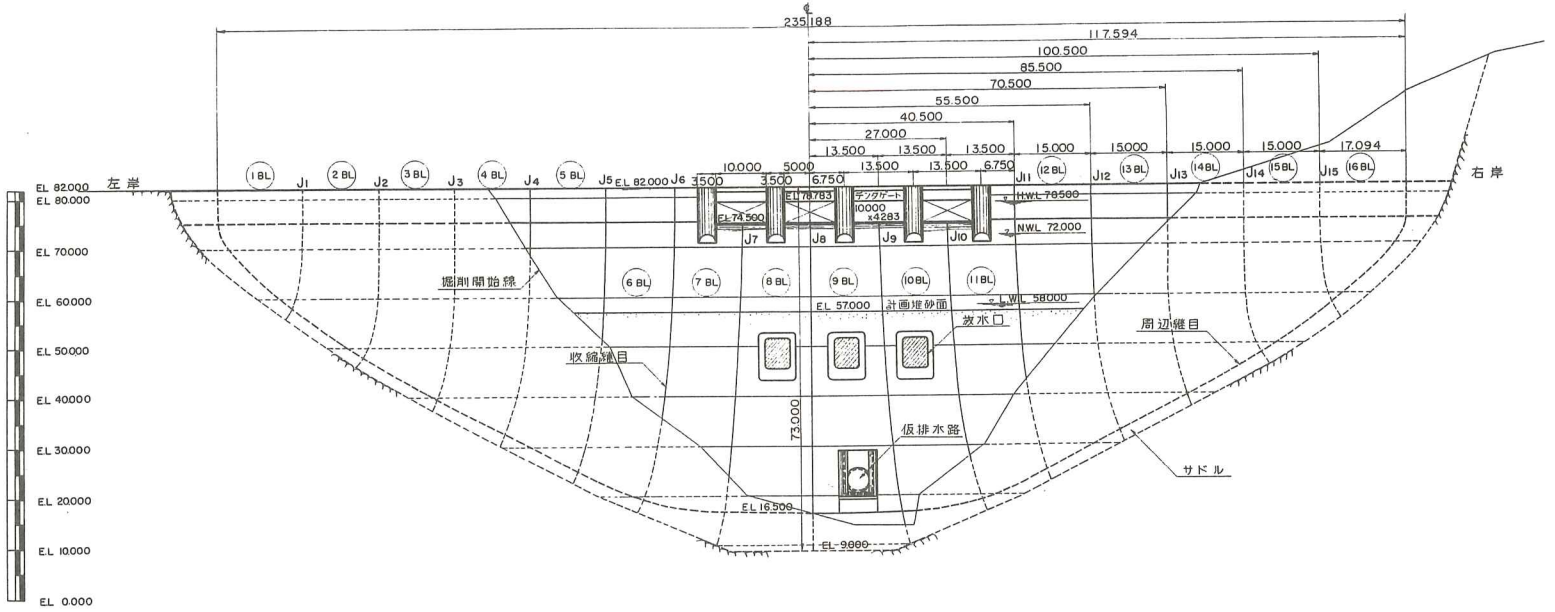


図-2.6　　天ヶ瀬ダム平面図

上流面展開図



下流面展開図

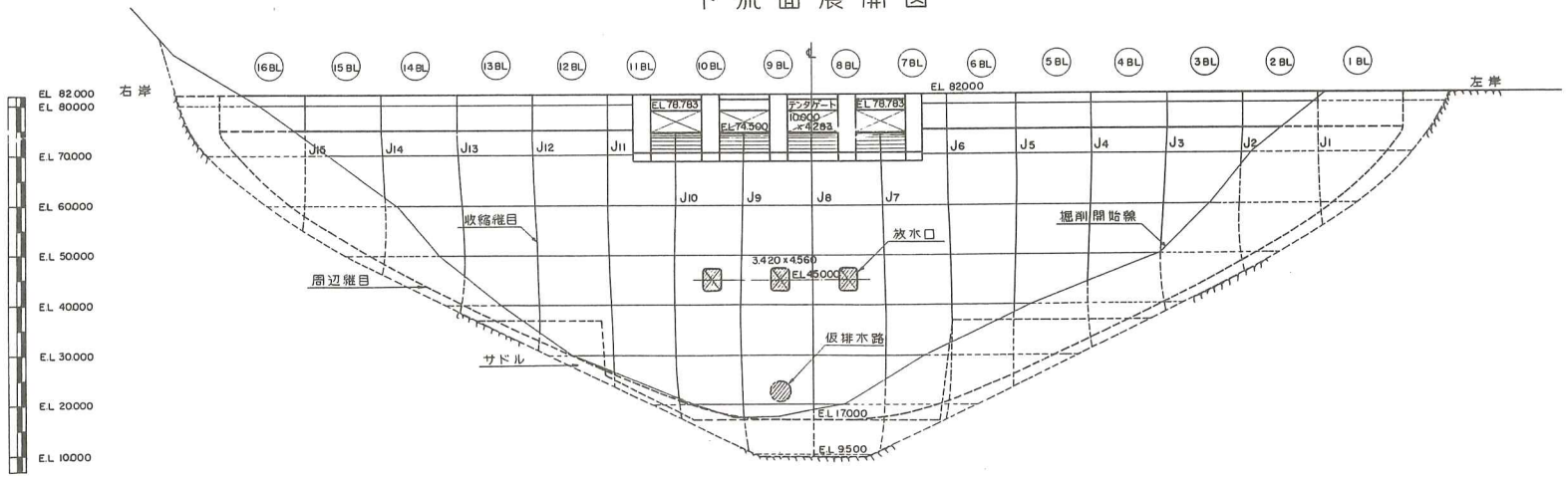


図-2.7　天ヶ瀬ダム上下流面図

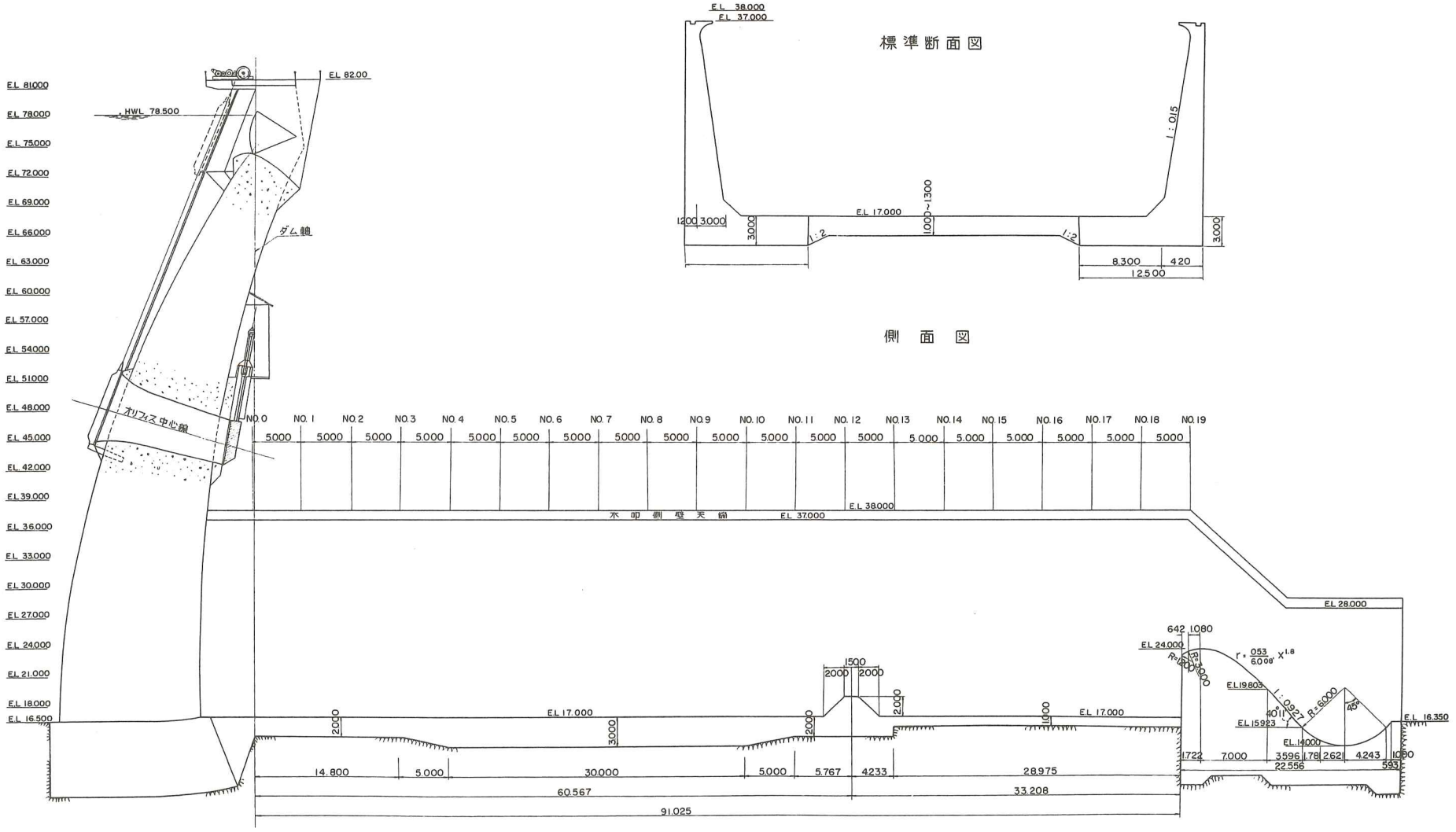


図-2.8　天ヶ瀬ダム標準断面図

3. 検討の概要

前述したとおり、天ヶ瀬ダムに新設が計画されているトンネル式放流設備における発生音特性については既に検討が行われているが、これはトンネル出口部における音響出力及び周波数特性の予測手法の検討が主体であり、トンネル出口からの伝搬特性についての検討は行われていない。（詳細は、土木研究所資料第 3718 号「天ヶ瀬ダム水理模型実験報告書（その 2）－トンネル式放流設備の発生音特性－（平成 12 年 3 月）」を参照のこと。）

天ヶ瀬ダムの放流設備は、洪水調節後の琵琶湖の後期放流を安全に流下させることを目的の一つとしている。この放流は比較的長期にわたることが予想されることから、発生した低周波音の周辺地域への伝搬状況を知ることは、新設放流設備放流時における発生音の低減対策等を検討するために重要である。

また、洪水調節や洪水調節後の後期放流では、新設放流設備は既設放流設備と併用して運用される可能性もあることから、既設放流設備における放流音特性を明らかにし、両放流設備における放流音特性の比較を行うことも必要となる。

以上のことから、本報告では下記に示す検討を行った。

(1) 既設放流設備（コンジット）における放流音特性の把握

コンジットからの放流時にダム周辺地域等で放流音の観測を行い、コンジットの放流音特性を把握した。

(2) 低周波音の周辺地域への伝搬状況の予測計算

既設・新設の各放流設備ならびに両放流設備から放流した場合の低周波音の周辺地域への伝搬状況について予測計算を行った。

4. 既設放流設備（コンジット）の放流音特性

4.1 現地観測の概要

既設放流設備（コンジット）における放流音特性の検討を行うため、平成 13年 8月 28日（観測日Ⅰ）及び平成 13年 9月 13日（観測日Ⅱ）に放流音の現地観測を実施した。両日とも、出水後の琵琶湖の水位調節のための放流であり、天候は概ね良好であった。

放流音の観測地点を図-4.1～4.3 及び表-4.1 に示す。表-4.1 には放流条件ならびに各地点で観測された音圧レベルも併せて掲載している。また、参考として、コンジットからの放流状況を写真-4.1～4.4 に示す。

調査地域は、主として以下の 4 地域に分けられる。

(1)ダム位置：ダム提体上や減勢工付近（A～E 地点）

(2)ダム周辺：ダム下流河川沿いの地域（P～X 地点）

(3)金井戸地区：ダムから比較的近い集落（靖国寺を中心とする地域）（K1～K7 地点）

(4)志津川地区：ダムから比較的距離のある集落（S1～S7 地点）

調査地点は、あらかじめ地図上で大まかな候補地を選定した後、最終的には現地にて周辺の地形やダムの見通しの状況等を考慮して決定した。特に、ダムからの見通しがきく下流河川沿いの地点の配置については、距離減衰式の適用を考慮して、各観測点の間隔が概ね等間隔になるよう配慮した。

観測日Ⅰについては観測地点数が少ないが、これは放流時間の関係によるものである。また、観測は行ったものの、風や他の音源（例えば、自動車等の通行）の影響が無視できないと判断された地点のデータはあらかじめ除いている。

観測日における放流条件の詳細は表-4.2 に示すとおりである。観測日Ⅰについては、ダムからの放流が停止するまでに 4 段階（放流パターン①→②→③→④→放流停止）のゲート操作が行われた。観測日Ⅱについては、観測中を通して同一の放流条件（放流パターン⑤）であった。

放流音の計測ならびにデータ処理は次のように行った。現地では 1～1000Hz の間で歪みのない測定が可能な低周波音レベル計（リオン製 NA-17）を用いてデータを記録した。現地にて記録したデータはサンプルレート 2000Hz で AD 変換し、音圧実効値を求めるとともに分解能を約 4Hz として FFT 解析を行いパワースペクトルを求めた。

なお、音圧実効値を P (Pa)、音圧の基準値を P_0 (=2×10^{-5} Pa)とすると、音圧レベル L_p (dB)は次式で与えられる。表-4.1 に示した音圧レベルは(4-1)式より換算したものである。

$$L_p = 10\log\frac{P^2}{P_0^{\,2}} = 20\log\frac{P}{P_0} \qquad (4\text{-}1)$$

また、パワースペクトル密度（周波数当たりの音圧実効値）をオーバーオール値で無次元化したパワースペクトル比については巻末に示した。

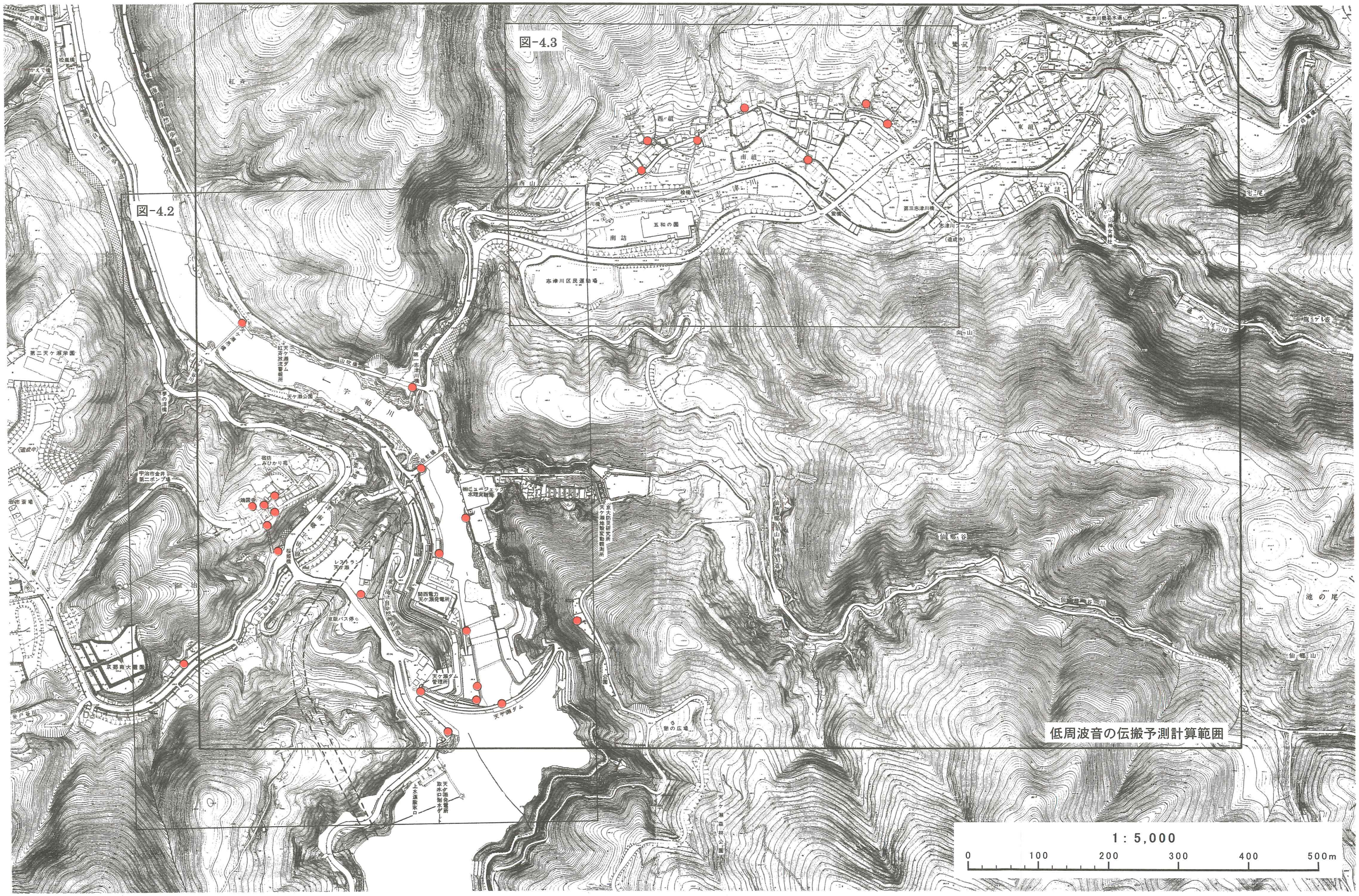


図-4.1　　放流音観測地点（全体図）

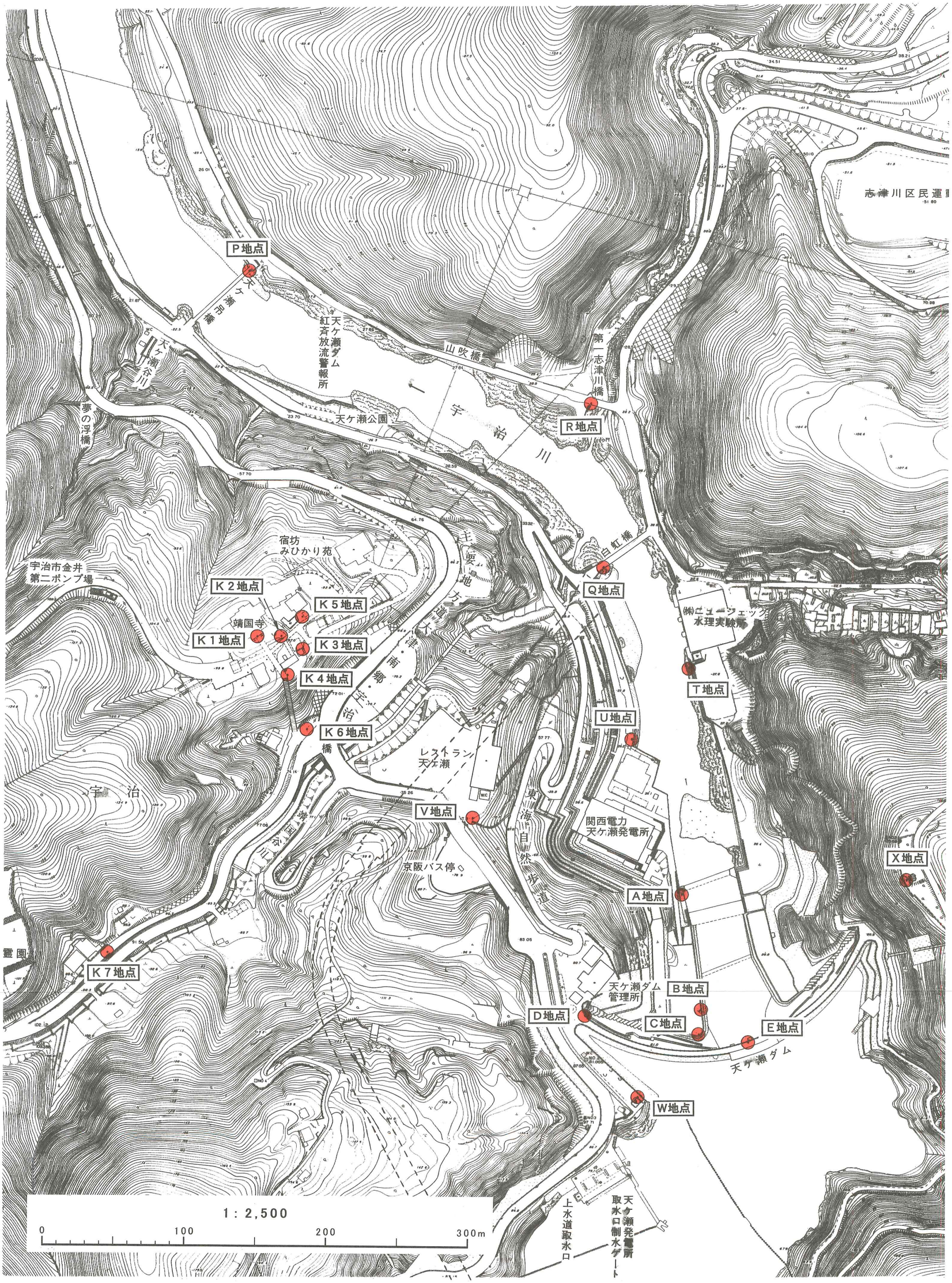


図-4.2　放流音観測地点（ダム周辺及び金井戸地区）

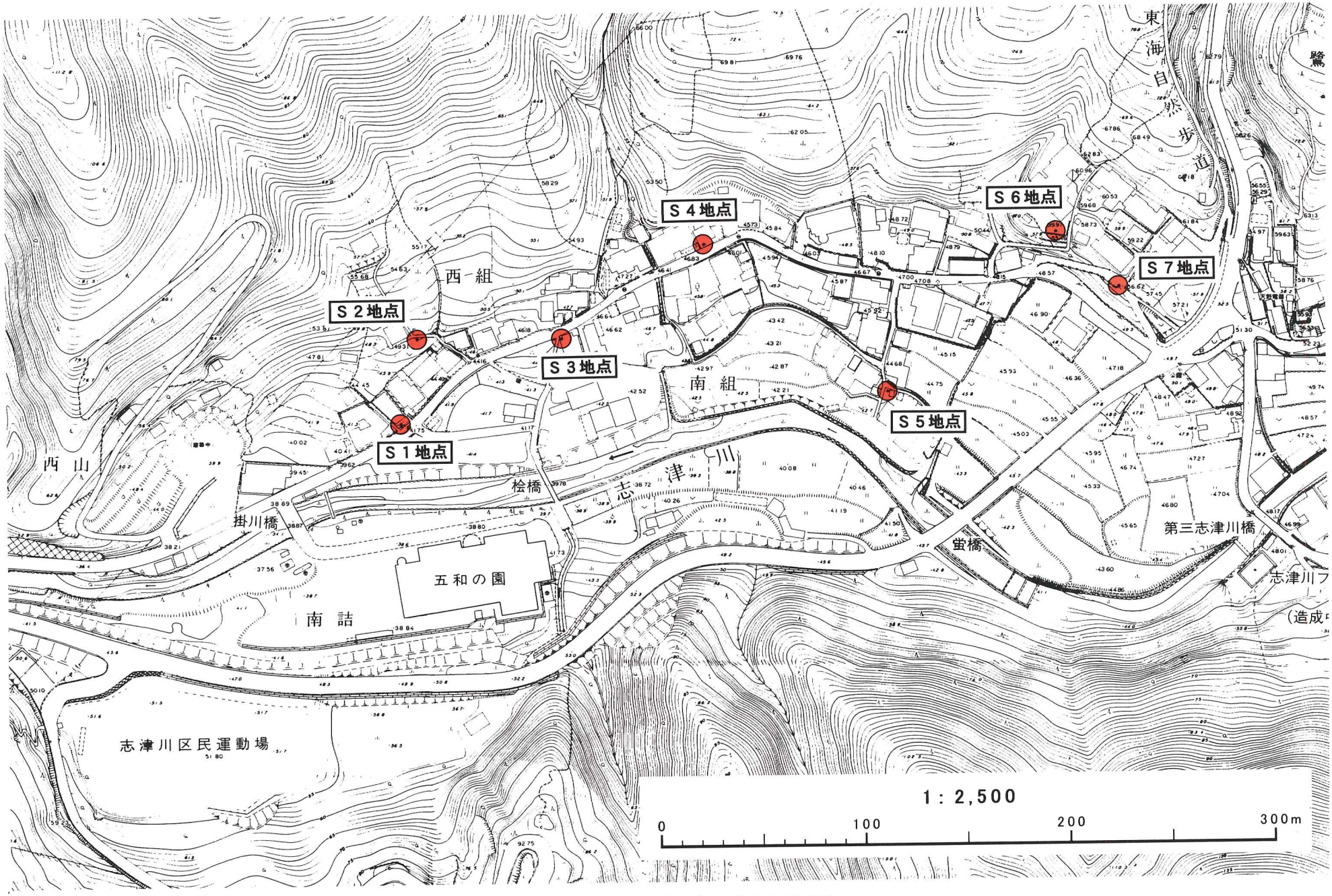


図-4.3　　放流音観測地点（志津川地区）

表-4.1　現地観測地点一覧

地点名	地点の概要		観測日Ⅰ		観測日Ⅱ	
			放流条件	音圧レベル	放流条件	音圧レベル
A 地点	ダム位置	副ダム直下流左岸側	放流パターン①	93.6dB	放流パターン⑤	96.1dB
B 地点		減勢工左岸側壁上	放流パターン②	98.1dB	放流パターン⑤	111.6dB
C 地点		減勢工左岸側壁上	放流パターン③	99.8dB	放流パターン⑤	107.0dB
D 地点		ダム天端左岸端付近	放流パターン④	84.6dB	放流パターン⑤	97.4dB
E 地点		ダム天端中央付近	放流パターン④	84.6dB	放流パターン⑤	96.9dB
P 地点	ダム周辺	天ヶ瀬吊橋上	放流パターン①	74.7dB	－	－
Q 地点		白虹橋上	－	－	放流パターン⑤	87.7dB
R 地点		第一志津川橋上	－	－	放流パターン⑤	85.0dB
T 地点		ニュージェック実験場内	－	－	放流パターン⑤	91.3dB
U 地点		天ヶ瀬発電所内	－	－	放流パターン⑤	91.8dB
V 地点		レストラン天ヶ瀬横	－	－	放流パターン⑤	88.8dB
W 地点		建設記念碑付近	－	－	放流パターン⑤	89.9dB
X 地点		右岸側展望公園内	－	－	放流パターン⑤	90.3dB
K1 地点	金井戸地区（靖国寺及びその周辺地域）		放流パターン①	77.4dB	放流パターン⑤	82.1dB
K2 地点			放流パターン①	76.8dB	－	－
K3 地点			放流パターン①	78.7dB	－	－
K4 地点			放流パターン①	77.6dB	放流パターン⑤	83.1dB
K5 地点			放流パターン①	78.5dB	－	－
K6 地点			放流パターン①	79.1dB	放流パターン⑤	83.6dB
K7 地点			－	－	放流パターン⑤	77.6dB
S1 地点	志津川地区（志津川集落内）		－	－	放流パターン⑤	74.1dB
S2 地点			－	－	放流パターン⑤	73.1dB
S3 地点			－	－	放流パターン⑤	71.4dB
S4 地点			－	－	放流パターン⑤	70.6dB
S5 地点			－	－	放流パターン⑤	70.0dB
S6 地点			－	－	放流パターン⑤	74.4dB
S7 地点			－	－	放流パターン⑤	71.5dB

注）1. 観測日Ⅰ：平成 13 年 8 月 28 日、観測日Ⅱ：平成 13 年 9 月 13 日



写真-4.1　　コンジット放流状況(1)（Q 地点，放流パターン①，H13.8.28 撮影）

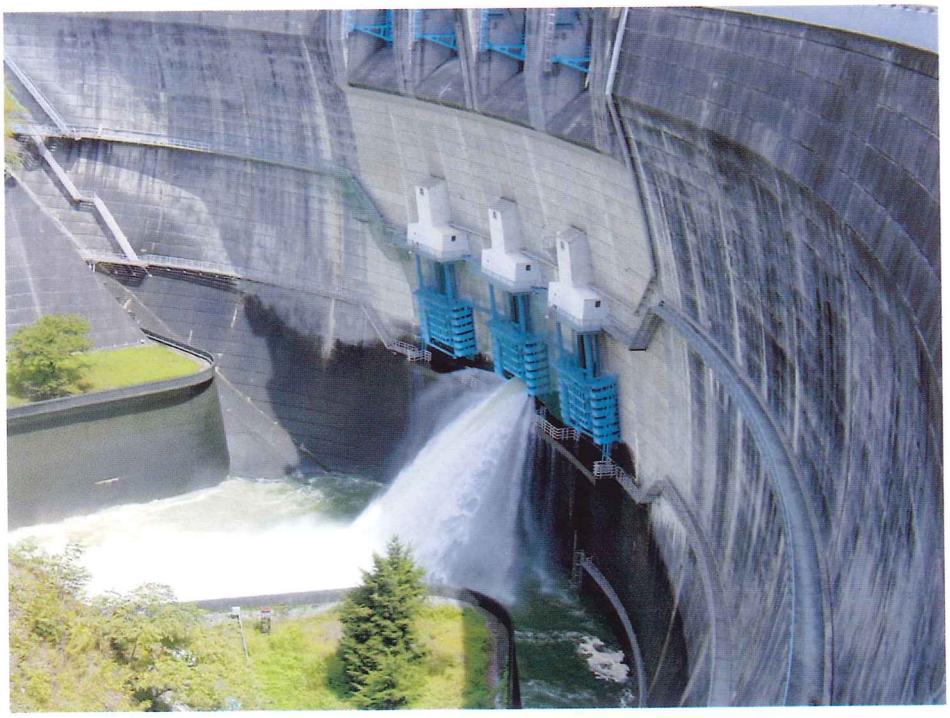


写真-4.2　　コンジット放流状況(2)（D 地点，放流パターン④，H13.8.28 撮影）



写真-4.3　　コンジット放流状況(3)（C 地点，放流パターン⑤，H13.9.13 撮影）

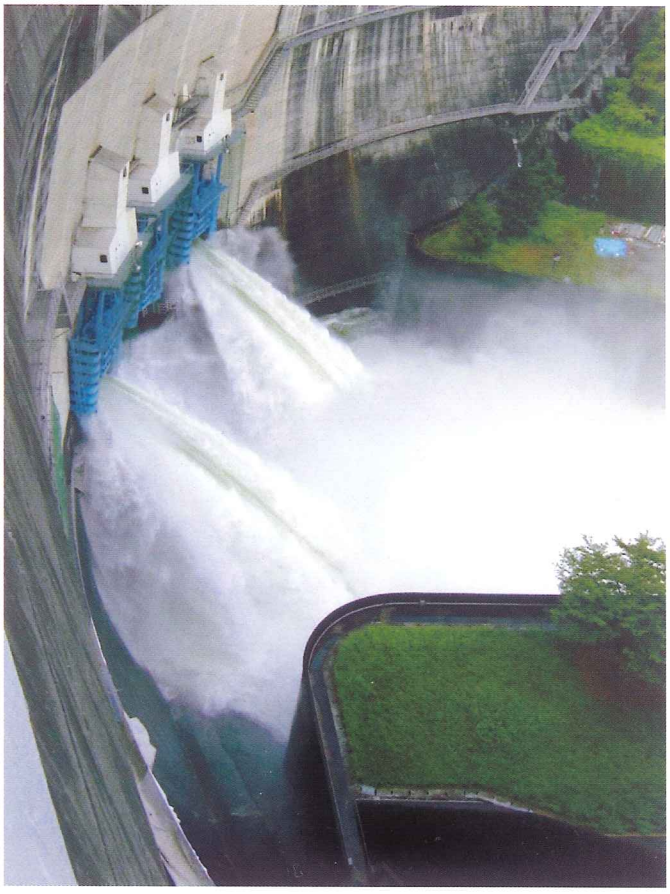


写真-4.4　　コンジット放流状況(4)（天端右岸側，放流パターン⑤，H13.9.13 撮影）

表-4.2　各放流条件における放流量及びダム貯水位

観測日	放流条件	コンジット放流量(m^3/s)　※(　)はフルード数				貯水位
		1号ゲート	2号ゲート	3号ゲート	合　計	(O.P.m)
観測日Ⅰ	放流パターン①	37(11.3)	36(11.4)	30(12.7)	103	69.1
	放流パターン②	－	36(11.4)	37(11.3)	73	69.1
	放流パターン③	－	43(10.3)	－	43	69.2
	放流パターン④	－	17(17.4)	－	17	69.2
観測日Ⅱ	放流パターン⑤	52(9.3)	－	54(9.0)	106	69.1

注）1. 上表は天ヶ瀬ダム操作記録を基に作成
2. 貯水位はダムサイト水位
3. O.P.はT.P.(東京湾平均海面)-1.3m

ダム放流音の周波数特性については、これまでの現地観測結果から、周波数が 2 倍となるごとにエネルギーが 1/2 となるようなピンクノイズの傾向を示すことが明らかとなっており[1]、今回の現地観測においても、ダム近傍及びダムから比較的近い観測地点では概ねその傾向を示している。

一方、ダムから比較的距離のある志津川地区（S1～S7 地点）においては、低周波音のエネルギーが大きく、周波数が大きくなるにつれてエネルギーが減少する傾向を示しているものの、ピンクノイズの傾向とは若干異なっている。このような特性を示す要因として、放流音以外の音源、例えば、自然騒音や生活雑音等の影響が考えられる。

4.2　放流音特性の推定

4.2.1　音の伝搬に関する基本式

音源が小さく、その音響出力がどの方向にも一様な音響エネルギーを放射して球面状に伝搬していく場合、音源は点音源とみなせる。これまでの跳水式減勢工における放流音の検討から、跳水音の発生音は跳水始端部からの発生音が支配的であることが明らかになっており[2]、例えば、放流管からの流れのように、幅が制約されたまとまった水脈が広い減勢池内に突入する場合の音源は、跳水始端部を音源位置とする点音源と考えることができる。

ここで、天ヶ瀬ダムのコンジットについて見てみると、コンジットからの放流水脈は拡散しながら落下するものの、その主流はまとまった水脈として減勢池に突入していることから、音源は跳水式減勢工の場合と同様に、放流水脈の減勢池への突入地点を音源位置とする点音源と考えることができる。

また、複数のコンジットから放流した場合は、各コンジットからの放流水脈の主流は互いに干渉し合うことなくそれぞれ単独の水脈として減勢池に突入していることから、各放流水脈の突入地点が点音源となり、観測値はこれらが合成したものとして与えられる。

音源を点音源、空間を半自由空間とし、各コンジットから放流した場合の音響パワーレベル（音響出力（音源から単位時間に放出される音の全エネルギー）を対数尺度で表示したもの）を PWL_j(dB) とすれば、合成音響パワーレベル PWL(dB) と地点(i)での音圧レベル SPL_i(dB) の関係は次式で与えられる。

$$SPL_i = PWL - 20\log r_i - 8 - \alpha_d - \alpha_e \qquad (4\text{-}2)$$

$$PWL = 10\log\left(\sum_j 10^{\frac{PWL_j}{10}}\right) \qquad (4\text{-}3)$$

ここに、r_i：音源から地点(i)までの距離(m)，α_d：回折減衰値(dB)，α_e：超過減衰値(dB)である。

なお、超過減衰とは、回折減衰以外の減衰のことであり、主として空気吸収による減衰と地表面の吸収による減衰がある。いずれも距離に比例して減衰効果は大きくなり、また、高周波音ほどその吸収量は大きくなるが、ダム放流音のような低周波音が卓越している場合には、その減衰量はほとんど無視できるほど小さい[3]。

また、上式はオーバーオール値について述べているが、当然のことながら、ある特定の周波数（例えば、1/3 オクターブバンドのある特定の中心周波数）についても成立する。

4.2.2 使用データ

音響パワーレベルや音源の周波数特性については、現地観測データを用いて(4-2)式から推定することができる。しかしながら、(4-2)式の適用に当たっては、回折減衰量の推定が難しいため、遠距離のデータの利用は難しい。また、音源を点音源と仮定しているため、音源近傍では(4-2)式は適用できないと考えられる。そこで、回折減衰の影響を無視できると考えられる放流地点から直接見通しのきく地点で、かつ、音源近傍を除く地点として、A,D,Q,R,T,U 地点のデータを用いて放流音特性を推定することとした。使用データをまとめたものを表-4.3 に示す。

上記観測地点を用いた以下の検討では、放流音特性の推定を(4-2)式において $\alpha_d = \alpha_e = 0$ とした次式により行った。

$$SPL_i = PWL - 20\log r_i - 8 \qquad (4\text{-}4)$$

ここに、SPL_i：地点(i)での音圧レベル(dB)，PWL：合成音響パワーレベル(dB)，r_i：音源から地点(i)までの距離(m)である。

4.2.3 音源位置

音源位置は、前述のとおり、放流水脈の減勢池への突入地点であると考えられる。放流水脈の落下に伴うエネルギー損失、ゲート半開時における下向きの偏向を無視すれば、放流水脈の突入地点は次式で与えられる。

表-4.3　放流音特性の推定に用いたデータ

放流条件	コンジット放流量(m³/s)				地点名	地点の概要	音圧レベル
	1号	2号	3号	合計			
放流パターン①	37	36	30	103	A 地点	副ダム直下流左岸側	93.6dB
放流パターン④	−	17	−	17	D 地点	ダム天端左岸端付近	84.6dB
放流パターン⑤	52	−	54	106	A 地点	副ダム直下流左岸側	96.1dB
					D 地点	ダム天端左岸端付近	97.4dB
					Q 地点	白虹橋上	87.7dB
					R 地点	第一志津川橋上	85.0dB
					T 地点	ニュージェック実験場内	91.3dB
					U 地点	天ヶ瀬発電所内	91.8dB

$$\left.\begin{aligned} L &= v_x\left(\frac{-v_y+\sqrt{{v_y}^2+2gW}}{g}\right) \\ v_x &= v\cdot\cos\theta\ ,\quad v_y = v\cdot\sin\theta\ ,\quad v=\sqrt{2g(H-h_c)} \end{aligned}\right\} \quad (4\text{-}5)$$

ここに、L：コンジット出口から突入地点までのコンジット中心線上の水平距離(m)，v：コンジット出口における流速(m/s)，θ：管軸線が水平となす角度(≒14 度)，H：貯水位(O.P.m)，h_c：コンジット出口中心標高(O.P.45.0m)，g：重力加速度(≒9.8m/s²)，W：コンジット出口中心から放流水脈の突入地点までの鉛直高さ(水褥深を副ダム高とすると W=45.0−24.0=21.0m)である。

4.2.4　音響パワーレベル

放流パターン①, ④, ⑤の 3 放流条件について、それぞれ現地観測データから(4-4)式を用いて音響パワーレベルの推定を行った。推定に用いたデータは、表-4.3 に示したとおりである。

(1) 放流パターン①における音響パワーレベル

このパターンではゲート 3 門から放流が行われている。各ゲートからの放流量は各々若干異なるが、簡単のため 1 門当たりの放流量は全放流量 103m³/s を 3 等分した 34.3m³/s とする。このパターンでのデータは A 地点のみであり、A 地点での観測値を用いて(4-4)式より音響パワーレベルを求めると 143.1dB となる。この値は 34.3m³/s を 3 門放流している場合の合成音響パワーレベルと考えられ、これを 1 門当たりに換算すると 138.3dB となる。すなわち、1 門当たりの放流量 34.3m³/s の場合の音響パワーレベルは 138.3dB と考えられる。

(2)放流パターン④における音響パワーレベル

このパターンではゲート 1 門のみの放流（17m³/s）である。このパターンでのデータは D 地点のみであり、D 地点での観測値を用いて(4-4)式より音響パワーレベルを求めると 134.4dB となる。

(3)放流パターン⑤における音響パワーレベル

このパターンではゲート 2 門から放流が行われている。パターン①と同様、各ゲートからの放流量は若干異なるが、簡単のため 1 門当たりの放流量は全放流量 106m³/s を 2 等分した 53m³/s とする。このパターンでの観測データは複数（A,D,Q,R,T,U 地点）あるため、各地点での観測値と距離との回帰式より音響パワーレベルを求めることとした。回帰式の傾きは(4-4)式における距離減衰の傾きとほぼ等しく(図-4.4)、回帰式より音響パワーレベルは 147.6dB となる。この値は 53m³/s を 2 門放流している場合の合成音響パワーレベルと考えられ、これを 1 門当たりに換算すると 144.6dB となる。すなわち、1 門当たりの放流量 53m³/s の場合の音響パワーレベルは 144.6dB と考えられる。

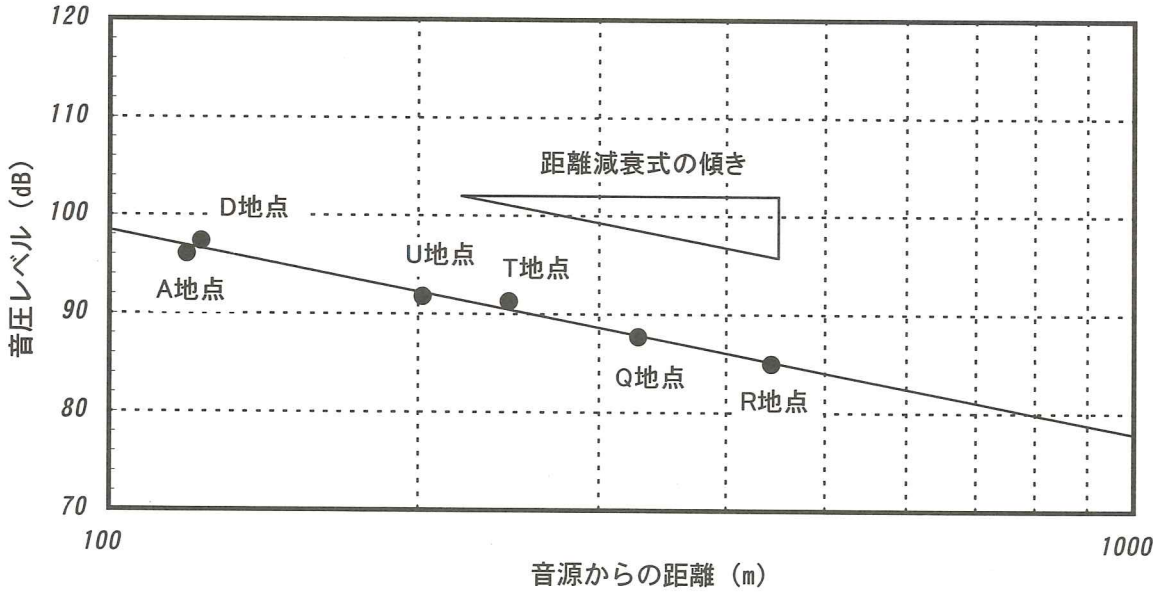


図-4.4　放流パターン⑤における回帰式の傾きと距離減衰式の傾きの関係

以上から求められるコンジット 1 門当たりの放流量 Q_j(m³/s)と音響パワーレベル PWL_j(dB)の関係は図-4.5 に示すとおりであり、回帰式を求めると次式のようになる。複数のコンジットから放流している場合は、各コンジットについて音響パワーレベル PWL_j(dB)を求めて(4-3)式より合成すればよい。

$$PWL_j = 8.6188 \ln(Q_j) + 109.41 \qquad (4\text{-}6)$$

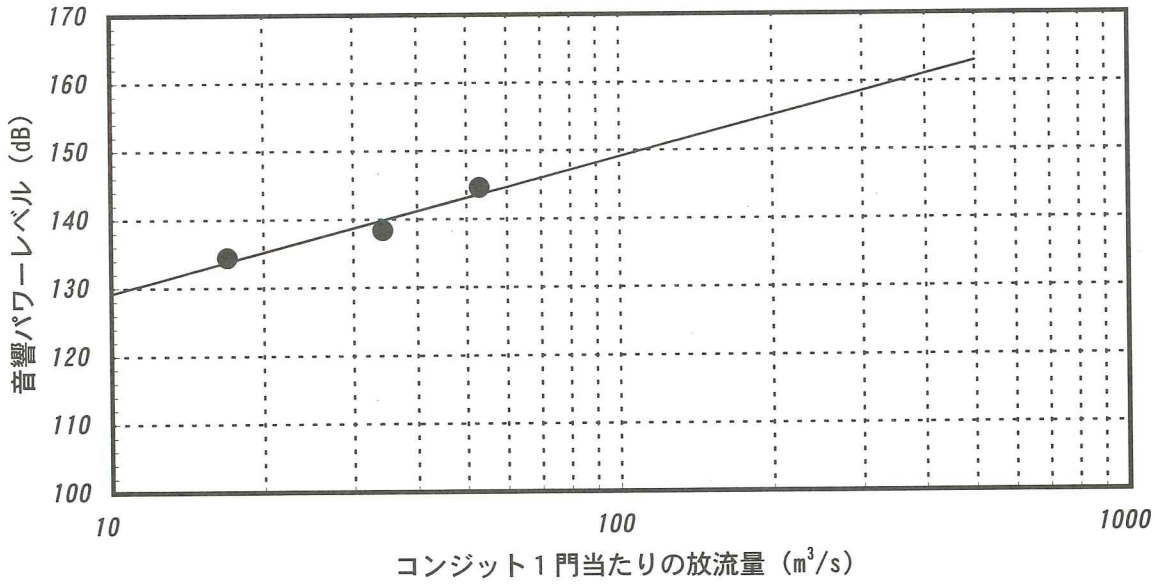


図-4.5　コンジット１門当たりの放流量と音響パワーレベルの関係

これまでのダム放流音に関する検討から、音響出力は流入エネルギーに概ね比例することが明らかとなっており [2)]、ここでは音響出力と流入エネルギーの比（流入エネルギーの音のエネルギーへの変換率と考えられ、以下変換率という）について整理を行ってみる。

音響出力 W (w) 及び流入エネルギー E (J/s) は次式で与えられる。

$$W = S \cdot I = 2\pi r_i^2 \cdot \frac{p_i^2}{\rho_a c} \tag{4-7}$$

$$E = \frac{\rho_w Q v^2}{2} \tag{4-8}$$

ここに、S：音源を囲む面の面積 (m^2)，I：音の強さ (w/m^2)，r_i：音源から観測点 (i) までの距離 (m)，p_i：観測点 (i) での音圧実効値 (Pa)，ρ_a：空気の密度 (kg/m^3)，c：音速 (m/s)，ρ_w：水の密度 (kg/m^3)，Q：放流量 (m^3/s)，v：流入流速（放流水脈の落下に伴うエネルギー損失を無視すれば $v=\sqrt{2g(H-h_0)}$ となる。$H-h_0$ は貯水面から放流水脈の減勢池への落下地点の高低差であり、減勢池の水褥深を副ダム高とすれば、$H-h_0$ = 貯水位 (O.P.m) -24.0m）である。

変換率を $\alpha=W/E$ とし、現地観測結果について、フルード数 Fr と変換率 α の関係を図-4.6 に示す。図には、比較のため、前報（文献 2)）に示した水平水叩き式減勢工を有する重力式ダムでの現地観測結果も併せて示している。図より、天ヶ瀬ダムの変換率は、水平水叩き式ダムの場合と同様に、フルード数の増加に伴い減少する右下がりの傾向を示している。また、天ヶ瀬ダム（アーチ式ダム）の変換率は、水平水叩き式ダムの場合と比べて大きくなっている。この要因としては、減勢による音のエ

ネルギーへの変換の他に、空中放流により誘発された空気振動の影響が加わっている可能性がある。

音響パワーレベルは、流入エネルギーに変換率を乗じることでも求められる。この場合の変換率は、やや大きめ（天ヶ瀬ダムの場合は 1.5～2×10^{-3} %程度）に見積もっておけば安全である。

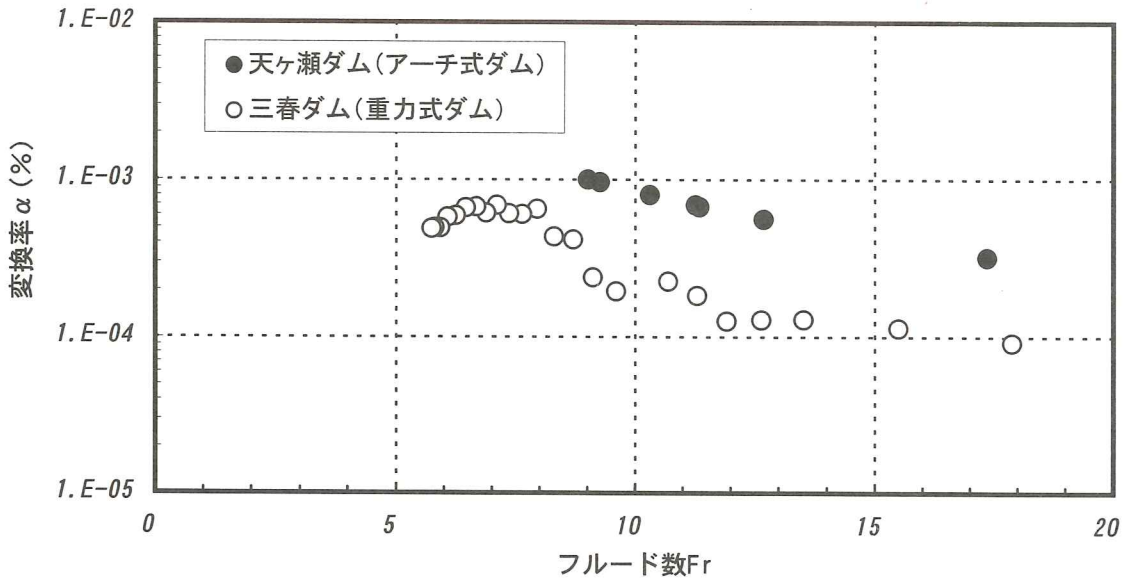


図-4.6　フルード数と変換率の関係

4.2.5　音源の周波数特性

前述したように、ダム近傍及びダムから比較的近い地点で観測された放流音は、低周波音が卓越したピンクノイズの傾向を示していることが分かった。すなわち、ダム放流音は低周波帯のエネルギーが大きいことから、低周波帯について別途 1/3 オクターブ分析を行い、その結果を用いて音源の周波数特性の検討を行うこととした。なお、使用した現地観測データは 4.2.4 と同じく表-4.3 に示す地点（A,D,Q,R,T,U 地点）のデータである。

1/3 オクターブ分析結果を図-4.7～4.8 に示す。縦軸は各 1/3 オクターブバンドの音圧レベルをオーバーオール値で無次元化したパワースペクトル比で表したものである。縦軸を音圧レベルで表したものについては巻末に示す。

図より、パワースペクトル比はどの地点でも概ね同じ分布となっている。これまでの水平水叩き式減勢工の検討でも、音源のパワースペクトル比は一定の減勢工形状に対して流況に依らない固有の特性をもつことが明らかとなっている [2)]。天ヶ瀬ダムのように空中放流の場合も同様であり、各観測地点の平均的な形状として、各観測地点から求められる音源位置のパワースペクトル比の平均値を音源のパワースペクトル比とした。

上記により求めた音源のパワースペクトル比を図-4.9,表-4.4 に示す。最も卓越している 1/3 オクターブバンドの中心周波数は 1.25Hz であり、このバンド帯（1.12～1.4Hz）のエネルギーは全エネ

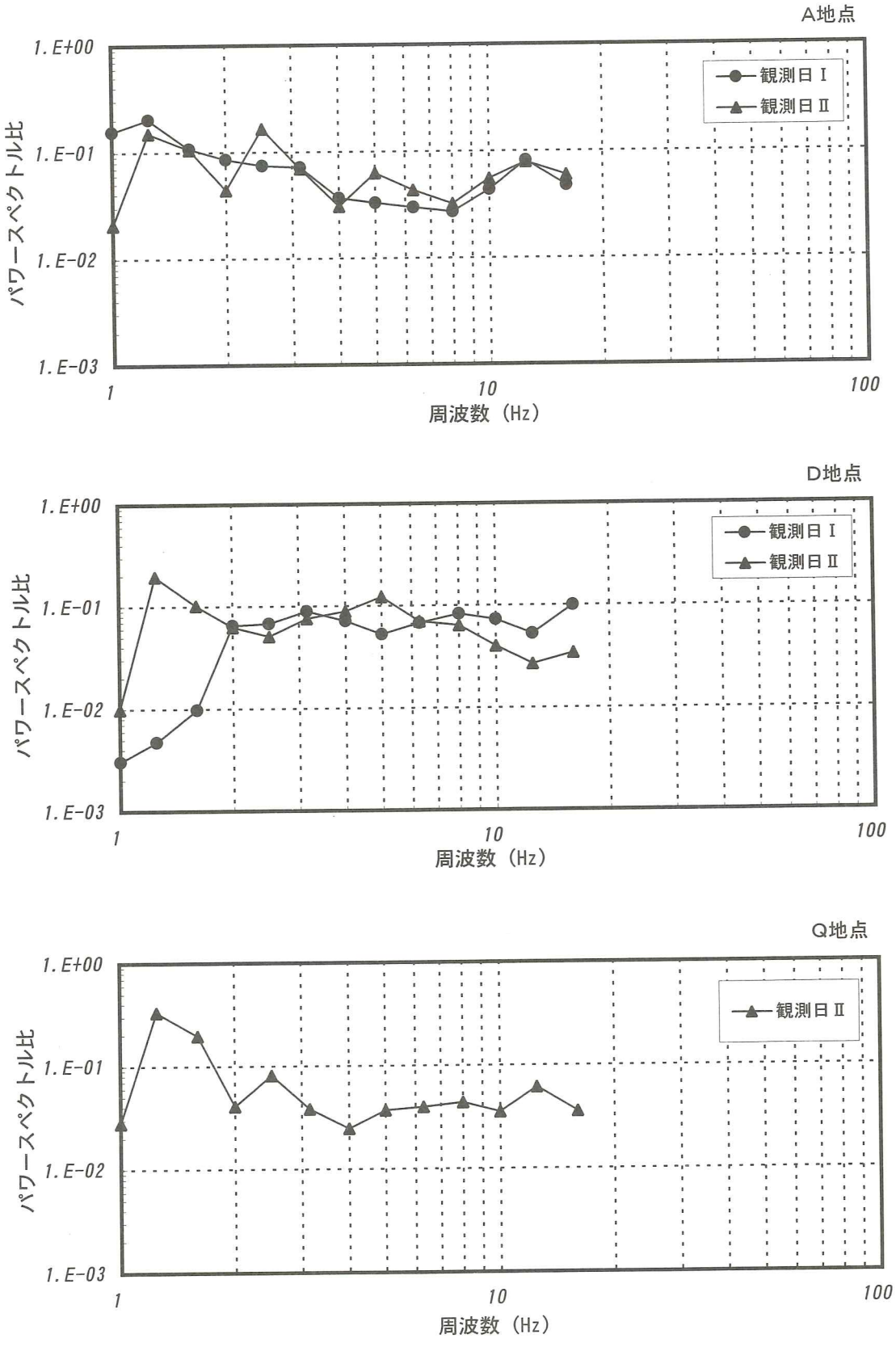
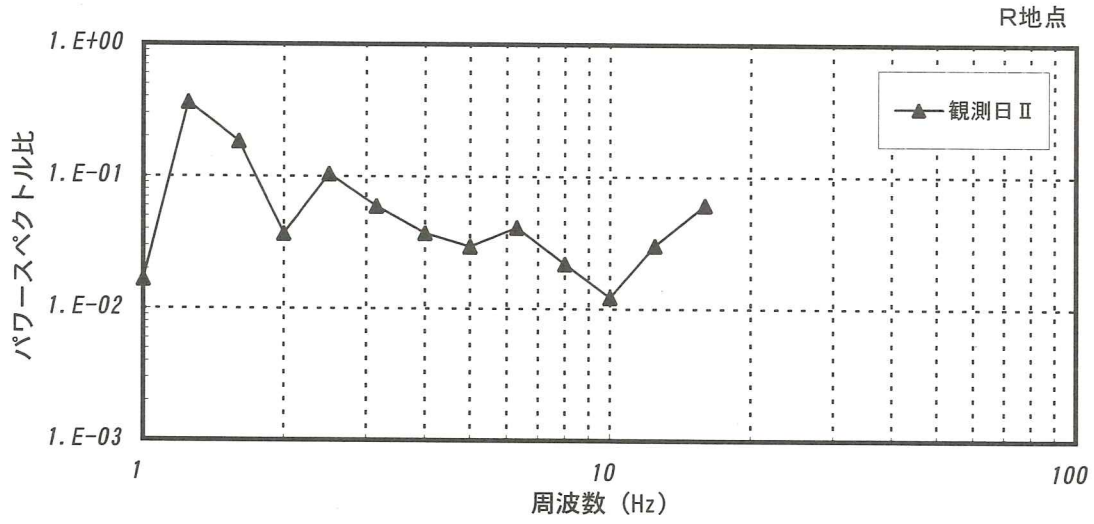
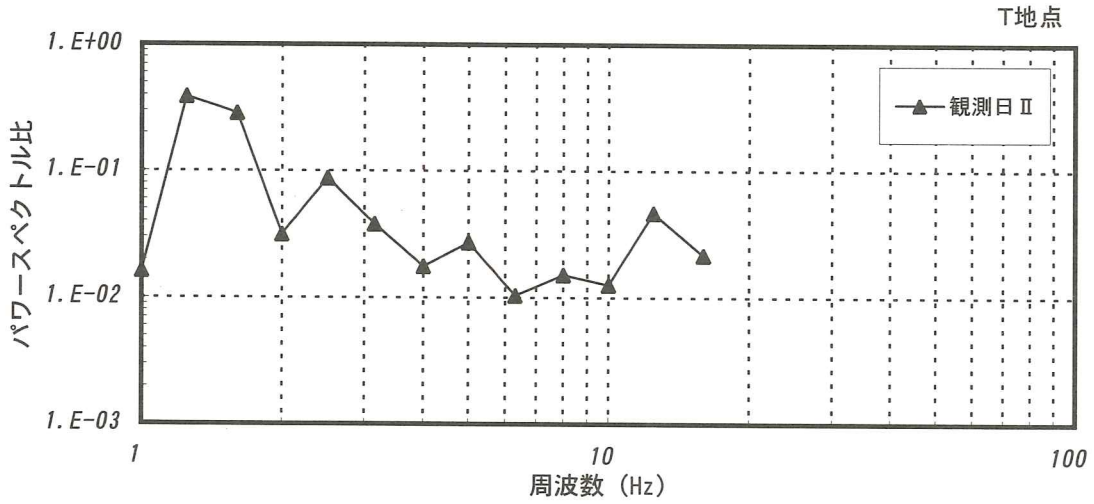


図-4.7　　各観測地点におけるパワースペクトル比（1/3オクターブ分析）





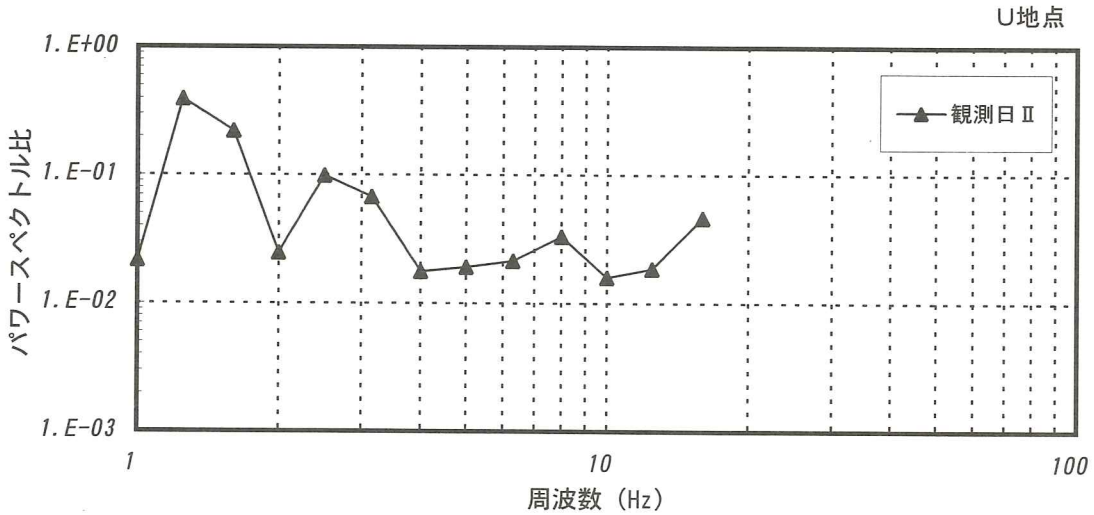


図-4.8　　各観測地点におけるパワースペクトル比（1/3オクターブ分析）

ルギーの約 1/4 を占めている。また、1～16Hz（バンド帯では 0.9～18Hz）までの周波数で全エネルギーの約 9 割を占めており、これからも天ヶ瀬ダムの放流音は低周波音の卓越した音であることが分かる。

音源の各 1/3 オクターブバンドの中心周波数毎の音圧レベルを求めるには、(4-6)式から求めた音響パワーレベル（オーバーオール値）をエネルギーに換算したものに表-4.4 のパワースペクトル比を乗じて、再度音圧レベルに換算すればよい。音圧レベルはエネルギーではないため、加減乗除はエネルギーに換算して行う必要がある。

ここで、音圧 P (Pa)の音がもつエネルギー I は、$I=P^2/\rho_a c$ (w/m^2)で表されることから、(4-1)式で表される音圧レベル L_p (dB)は次式のように変形できる。

$$L_p = 10\log\frac{I}{I_0} \qquad (4\text{-}9)$$

ここに、I_0：音の強さの基準値(10^{-12} w/m^2)である。

これより、音源のエネルギー I_{OA} (w/m^2)は音響パワーレベルを PWL(dB)として次式で表される。

$$I_{OA} = I_0 \cdot 10^{\frac{PWL}{10}} \qquad (4\text{-}10)$$

各 1/3 オクターブバンドの中心周波数における音のエネルギーは、音源のエネルギー I_{OA} にパワースペクトル比 R_s を乗じた $I_{OA}\cdot R_s$ で表されることから、各中心周波数の音圧レベル L_f(dB)は(4-9)式及び(4-10)式より次式のようになる。

$$L_f = PWL + 10\log R_s \qquad (4\text{-}11)$$

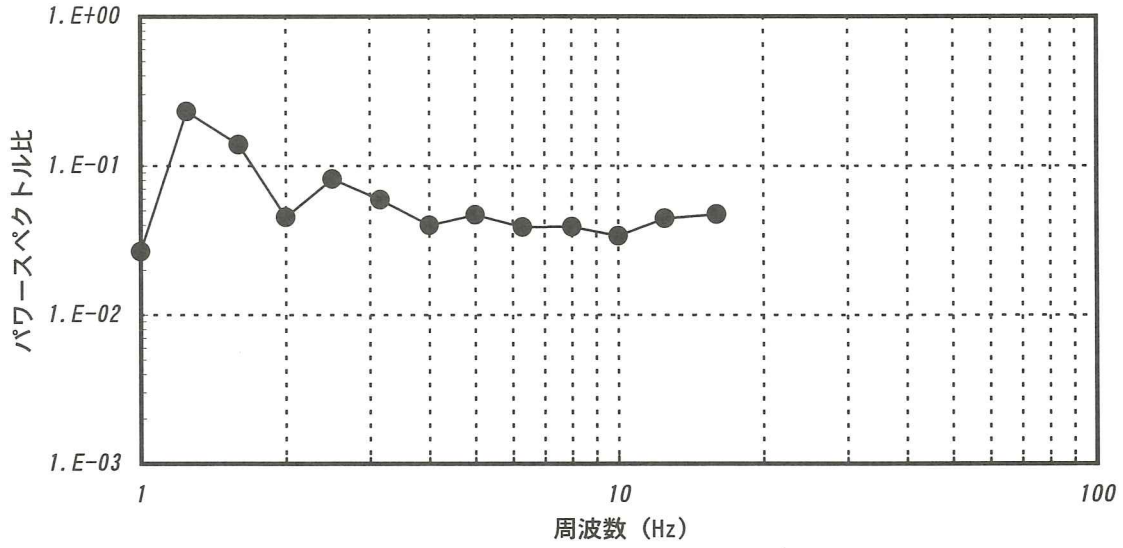


図-4.9　音源のパワースペクトル比（1/3 オクターブバンド：1～16Hz）

表-4.4　音源のパワースペクトル比（1/3 オクターブバンド：1～16Hz）

中心周波数（Hz） f_0	遮断周波数（Hz） f_1 ～ f_2	パワースペクトル比 R_s
1	0.9 ～ 1.12	0.0267
1.25	1.12 ～ 1.4	0.2306
1.6	1.4 ～ 1.8	0.1391
2	1.8 ～ 2.24	0.0453
2.5	2.24 ～ 2.8	0.0819
3.15	2.8 ～ 3.55	0.0594
4	3.55 ～ 4.5	0.0400
5	4.5 ～ 5.6	0.0469
6.3	5.6 ～ 7.1	0.0388
8	7.1 ～ 9	0.0390
10	9 ～ 11.2	0.0339
12.5	11.2 ～ 14	0.0444
16	14 ～ 18	0.0474

4.3　新設放流設備の放流音特性との比較

4.3.1　音響パワーレベル

既設放流設備（コンジット）における音響パワーレベルは、前述したとおり(4-6)式から求められる。一方、新設放流設備では、既往実験によりトンネル出口部での音が求められており、音響パワーレベル PWL(dB)は次式で与えられる[2)]。

$$\left.\begin{aligned} PWL &= 10\log\frac{W}{W_0} \\ W &= S\cdot I = Bh\frac{{p_{ob}}^2}{\rho_a c} \\ p_{ob} &= \varepsilon\sqrt{\frac{\alpha\rho_w\rho_a Q{c'}^2 cg(H_r-24)}{2\times 15.3\times\pi B}} \end{aligned}\right\} \quad (4\text{-}12)$$

ここに、W：音響出力(w)，W_0：音響出力の基準値(=10^{-12}w)，S：トンネル出口の空き断面積(=Bh)，B：減勢工幅(m)，h：空き断面高さ(m)，p_{ob}：トンネル出口の観測音圧(Pa)，ε：伝達率(空き断面高さによって異なり、h =5.0m：1.1, h =3.4m：0.952, h =1.8m：0.766)，α：変換効率(模型実験結果より 7.0×10^{-6})，ρ_w：水の密度(kg/m^3)，ρ_a：空気の密度(kg/m^3)，Q：放流量(m^3/s)，c'：貯水位から着水までの間の損失係数(≒0.9)，c：音速(m/s)，g：重力加速度(m/s^2)，H_r：貯水位(O.P.m)である。

ここで、音源をトンネル出口部とし、設計対象の流量条件（水位：発電最低水位 O.P.67.1m，放流

量 700m³/s）時における音響パワーレベルを求めると表-4.5 のようになる。

表-4.5　新設放流設備における音響パワーレベル

空き断面高さ h(m)	5.0	3.4	1.8
音響パワーレベル PWL(dB)	140.2	137.3	132.7

また、最も厳しい条件である空き断面高さ h = 5.0m の場合について、放流量と音響パワーレベルの関係を図-4.10 に示す。図には、既設放流設備（コンジット 1 門当たり）の音響パワーレベルの推定式も併せて示している。図より、新設放流設備の方が同じ放流量に対する音響パワーレベルは小さく、またグラフの傾き（放流量の増加分に対する音響パワーレベルの増加分の割合）も新設放流設備の方が小さい。これは、新設放流設備の方が変換率が小さいこと及び減勢工をトンネル構造とした効果であると考えられる。

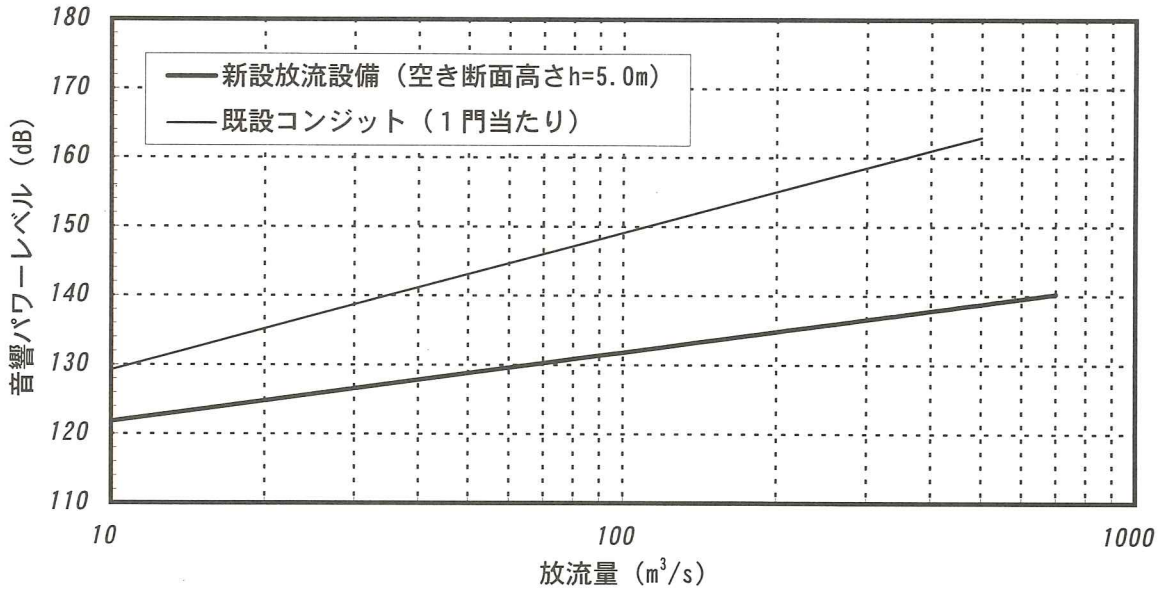


図-4.10　既設及び新設放流設備における放流量と音響パワーレベルの関係

4.3.2　音源の周波数特性

新設放流設備のトンネル出口部における音のパワースペクトル比を図-4.11 に示す。図には、今回推定した既設放流設備（コンジット）のパワースペクトル比についても併せて示している。図より、新設放流設備の開口部が小さいケースでは、卓越周波数を含む低周波帯のエネルギーが小さくなる傾向にあるものの、既設、新設の両放流設備の周波数特性は概ね一致している。

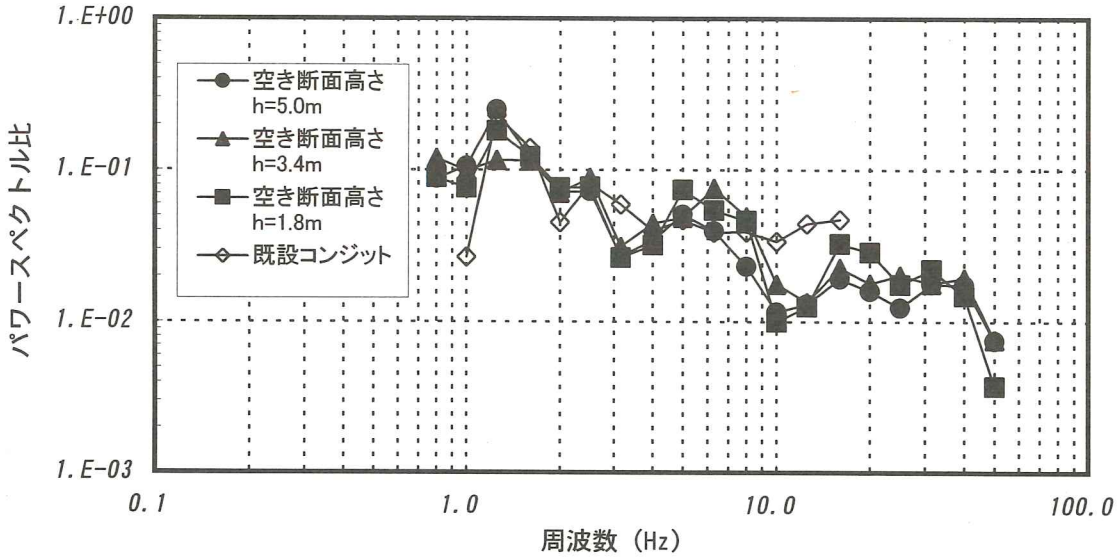


図-4.11　　新設放流設備のトンネル出口部におけるパワースペクトル比
（1/3 オクターブバンド：1～16Hz）

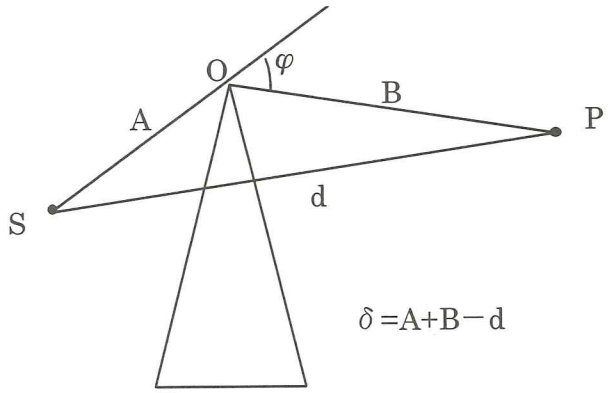
5. 低周波音の伝搬予測計算

5.1 地形データ

低周波音の伝搬予測計算では、地形による回折減衰の効果も見込むこととし、図-4.1 に示す計算範囲（ダム及びダム下流域を主体とした概ね 1.1km×1.5km の範囲）について 10m メッシュで作成した数値地図を用いた。数値地図の作成に当たっては、ダム周辺の 1/2,500 全体平面図及びダム下流域の 1/500 地形図を用いた。なお、双方の地形図が重なり合う部分については、1/500 地形図の情報を優先させた。

5.2 低周波音の伝搬予測計算手法

低周波音の伝搬予測に関する基本式は、4.2.1 で示した(4-2)式である。地形による回折減衰量については、下図に示すような経路差を考慮して求めるものとした。



経路差 δ の回折減衰値 $\alpha_d=\Delta D$ は次式より求めた。

$$\Delta D = 10\log_{10} N + 13 \qquad N \geq 1$$

$$\Delta D = 5 \pm 8/\ln(1+\sqrt{2})\cdot \sinh^{-1} 2(|N|^{0.485}) \qquad -0.324 \leq N < 1$$

$$\Delta D = 0 \qquad N < -0.324$$

（＋符号は $N>0$，－符号は $N<0$）

ここに、N：フレネル数（$N=2\delta/\lambda$, $\varphi \leq 90°$）である。

また、超過減衰については、空気吸収による減衰のみを考慮した。空気吸収による減衰値を計算する際の気温及び湿度は、標準大気の気温（15 ℃）及び湿度（60%）とし、「空気吸収減衰量(ISO3891)」に示されている式を用いて計算を行った。

$$\alpha_i = 10^{\left\{2.05\cdot Log_{10}(f_0/1000)1.1394\cdot 10^{-2}\cdot t - 1.916984\right\}+\eta(\delta)10^{\left(Log_{10}f_0+8.429941\cdot 10^{-2}\cdot t-2.755624\right)}}$$

$$\delta = \sqrt{1010/f_0}\cdot 10^{\left(Log_{10}H-1.328924+3.179768\cdot 10^{-2}\cdot t-2.173716\cdot 10^{-4}\cdot t^2+1.7496\cdot 10^{-6}\cdot t^3\right)}$$

ここに、f_0：音の周波数, t：気温(標準大気：15 ℃), H：相対湿度(標準大気：60%)である。

5.3 既設放流設備における放流音特性の検証

前章で検討を行った既設放流設備（コンジット）における放流音特性は、音源を点音源とし、回折減衰の影響のない観測データを半自由区間における距離減衰式に適用して検討を行ったものである。そこで、推定した放流音特性の妥当性の検証を行うため、現地観測時の再現計算を行い、回折の影響があると考えられる地点の観測データとの比較を行うこととした。

計算は、終日安定した放流が行われ、かつ、観測データが豊富な観測日Ⅱの放流パターン⑤の条件について行った。また、比較した地点はV, W, X, K1, K4の5地点とした。これは、現地観測時の放流量がそれ程大きくないため、音源からの距離が遠くなるにつれ、放流音以外の音源（自然騒音や生活雑音等）の影響が無視できなくなると考えたことによる。さらに、金井戸地区については、観測地点が集中しているため、K1及びK4地点を代表地点とした。

放流パターン⑤の条件では、1号及び3号ゲートの2門から放流していることから、それぞれの音源位置を(4-5)式から、音響パワーレベルを(4-6)式から求め、2音源の重心で合成音響パワーレベルを与えた。また、計算は1/3オクターブバンド1～16Hzの各中心周波数について行った。

現地観測結果と予測計算結果を各地点毎に図-5.1,5.2に示す。予測計算結果は、各中心周波数毎に(4-2)式を用いて計算を行った結果である。

図より、各地点とも1～4Hz程度までは両者の結果はよい一致を示している。4Hz以上の周波数では、W地点を除き現地観測結果の方が音圧レベルが若干大きくなっている。これは、放流音以外の自然騒音、生活雑音等による影響が考えられる。特に、地点Vではその影響が顕著に現れているが、地点X,K1,K4ではその差は数dB程度と小さい。W地点では、逆に現地観測結果の方がやや小さくなっているが、これは回折の影響が現れているものと考えられる。すなわち、10mメッシュの数値地図ではアーチダムの複雑な曲線形状を適切に再現しきれていないことが考えられるが、両者の差は数dB程度である。

以上のことから、本検討で用いた推定方法は概ね妥当なものであると考えられる。

5.4 大流量放流時における低周波音の伝搬予測

これまでの検討結果を用いて、既設のコンジットならびに新設放流設備から大流量を放流した場合について、低周波音の周辺地域への伝搬状況の予測計算を行った。

計算ケースを表-5.1に示す。CASE1及びCASE3については、それぞれ既設放流設備、新設放流設備における洪水調節時の最大放流量である。CASE2については、実際に低周波音の影響があったとされる平成11年6月28日～7月7日の状況の再現を試みたものである。この10日間は連続して400m^3/s以上の放流を行っており、その平均放流量500m^3/s（最大放流量は7月1日の608m^3/s）を計算条件とした。

また、CASE4及びCASE5については、将来的に運用が予想される既設放流設備と新設放流設備を併用した場合について計算を行ったものである。1,500m^3/sは洪水調節後の琵琶湖の後期放流における最大放流量であり、900m^3/sは洪水調節開始流量である。

なお、洪水調節開始流量放流時における両放流設備の分担割合は、計画では既設放流設備から600m³/s、新設放流設備から300m³/sとなっているが、CASE1（既設放流設備から900m³/s放流）との比較検討を行うため、新設放流設備については最大放流量の700m³/sに設定した。

各計算ケースとも、1/3オクターブバンドの中心周波数1.25Hz(バンド帯は1.12～1.4Hz),5Hz(同4.5～5.6Hz),10Hz(同9～11.2Hz)の3周波数について伝搬予測計算を行った。1.25Hzについては、図-4.11に示すように既設、新設の両放流設備の卓越周波数であり、5Hz及び10Hzについては、低周波音の代表周波数として設定したものである。低周波音による苦情の多くは、低周波音による窓や戸などの建具の振動に対するものであり、一般に木造建具の固有振動数は概ね5～10Hzの範囲に入っている[4]ことから、このような設定にした。また、新設放流設備のトンネル出口の空き断面高さ h については、最も厳しい条件であると考えられる h =5.0mとした。

なお、**5.3**で述べたように、本推定方法に基づく予測計算では、4Hz以上の周波数で現地観測結果よりも若干小さめの音圧レベルになっていることから、5Hz及び10Hzにおける予測計算結果については、若干割り増して評価を行う必要がある。

図-5.3～5.7に予測計算結果を示す。全般的な減衰の傾向としては、最も周波数の低い1.25Hzのケースでは地形による回折の影響が小さくほぼ同心円状に減衰し、周波数が5Hz,10Hzと高くなるに従い地形による回折の影響を受けるようになることが分かる。また、表-4.4に示されるように、周波数が高くなるに従い音のエネルギーは小さくなることから、周波数が5Hz,10Hzと高くなるにつれ音圧レベルも小さくなる。

CASE2は実際に低周波音の影響があったとされる状況を再現したものであり、志津川地区においては、5Hz,10Hzの音はそれぞれ70dB,65dB程度となっている。建具ががたつき始める音圧レベルの最低の値の目安は、室内実験により5Hzで70dB、10Hzで75dB程度と求められており[4]、予測計算結果に若干の割り増しを見込めば、実際に低周波音による影響があった可能性のあることが確認される。

CASE1,CASE4はそれぞれ現況及び再開発後の最大放流量であるが、例えば、志津川地区では、5Hz,10Hzの音はそれぞれ75dB,70dB程度となっており、低周波音による影響が懸念される。特に、琵琶湖の後期放流については、比較的長期間にわたることが予想されるため、その間低周波音による影響が続くことが考えられる。CASE3は新設放流設備から単独で放流した場合であるが、後述するように、最大放流量700m3/sを放流した場合でも、音源近傍（トンネル出口から100～200m程度以内）を除けば、低周波音による影響は小さいものと考えられる。

放流設備の違いについては、トータルの放流量が同じであるCASE1とCASE5を比較すると、CASE1の方が周辺地域での音圧レベルが大きく、音響パワーレベルの違いがそのまま現れる結果となっている。CASE2とCASE3の比較でも同様に、新設放流設備の放流量の方が大きいにも関わらず、周辺地域での音圧レベルは逆に小さくなっている。CASE4は将来的に考えられ得る最大の放流量であるが、現況の最大放流量の放流時を再現したCASE1よりも流量が600m³/s大きいにも関わらず、周辺地域での音圧レベルはやや小さくなっている。図-4.10に示したように、既設放流設備の方

が新設放流設備に比べ音響パワーレベルが大きく、また、流量が大きくなるほどそのレベル差も大きくなることから、両放流設備から放流する場合は、トータルの放流量が大きいほど新設放流設備から放流する方が周辺地域に与える影響は小さいと考えられる。

なお、新設放流設備の水理模型実験結果（詳細は、土木研究所資料第 3623 号「天ヶ瀬ダム水理模型実験報告書（平成 11 年 3 月）」を参照）によれば、ダム側の放流がある場合には、トンネル出口部において水深が十分に確保されているため、トンネルからの流れが対岸に達することはないが、ダム側の放流がない場合には、下流河道の水位によってはトンネルからの流れが対岸に当たり湧き上がる流況となることが明らかになっている。特に、下流水位を調節しない場合（最も厳しい条件）では、新設放流設備の単独放流量が $370m^3/s$ を越えると、トンネルからの流れが対岸に当たり湧き上がる流況となることから、新設放流設備から単独で放流する場合には放流量に留意する必要がある。

また、先に述べたように、既設放流設備における音響パワーレベルは現地観測結果から推定したものであり、コンジット 1 門当たりの放流量が $53m^3/s$ を越える場合の音響パワーレベルは外挿による推定となる。現地観測を行った放流量の範囲では、音響パワーレベルは $\ln Q$（Q：放流量）に比例しているが、大流量の場合もその傾向に従うかどうか、現地観測による検証が必要である。

表-5.1　放流音伝搬予測計算ケース

放流設備	ケース名	中心周波数	全放流量及び貯水位	放流条件等	音響パワーレベル	
既設コンジット	CASE1-1	1.25Hz	900m³/s O.P.72.0m	300m³/s×3門	157.0dB	
	CASE1-2	5Hz			150.1dB	
	CASE1-3	10Hz			148.6dB	
	CASE2-1	1.25Hz	500m³/s O.P.69.1m	250m³/s×2門	153.6dB	
	CASE2-2	5Hz			146.7dB	
	CASE2-3	10Hz			145.3dB	
新設放流設備	CASE3-1	1.25Hz	700m³/s O.P.67.1m		134.2dB	
	CASE3-2	5Hz			127.3dB	
	CASE3-3	10Hz			120.8dB	
既設コンジット＋新設放流設備	CASE4-1	1.25Hz	1,500m³/s O.P.67.1m	既設コンジット 800m³/s（267m³/s×3門）＋新設放流設備 700m³/s	既設	156.0dB
					新設	134.2dB
	CASE4-2	5Hz			既設	149.1dB
					新設	127.3dB
	CASE4-3	10Hz			既設	147.6dB
					新設	120.9dB
	CASE5-1	1.25Hz	900m³/s O.P.72.0m	既設コンジット 200m³/s（200m³/s×1門）＋新設放流設備 700m³/s	既設	148.7dB
					新設	134.7dB
	CASE5-2	5Hz			既設	141.8dB
					新設	127.8dB
	CASE5-3	10Hz			既設	140.4dB
					新設	121.3dB

注）1. O.P.67.1m：発電最低水位、O.P.72.0m：制限水位

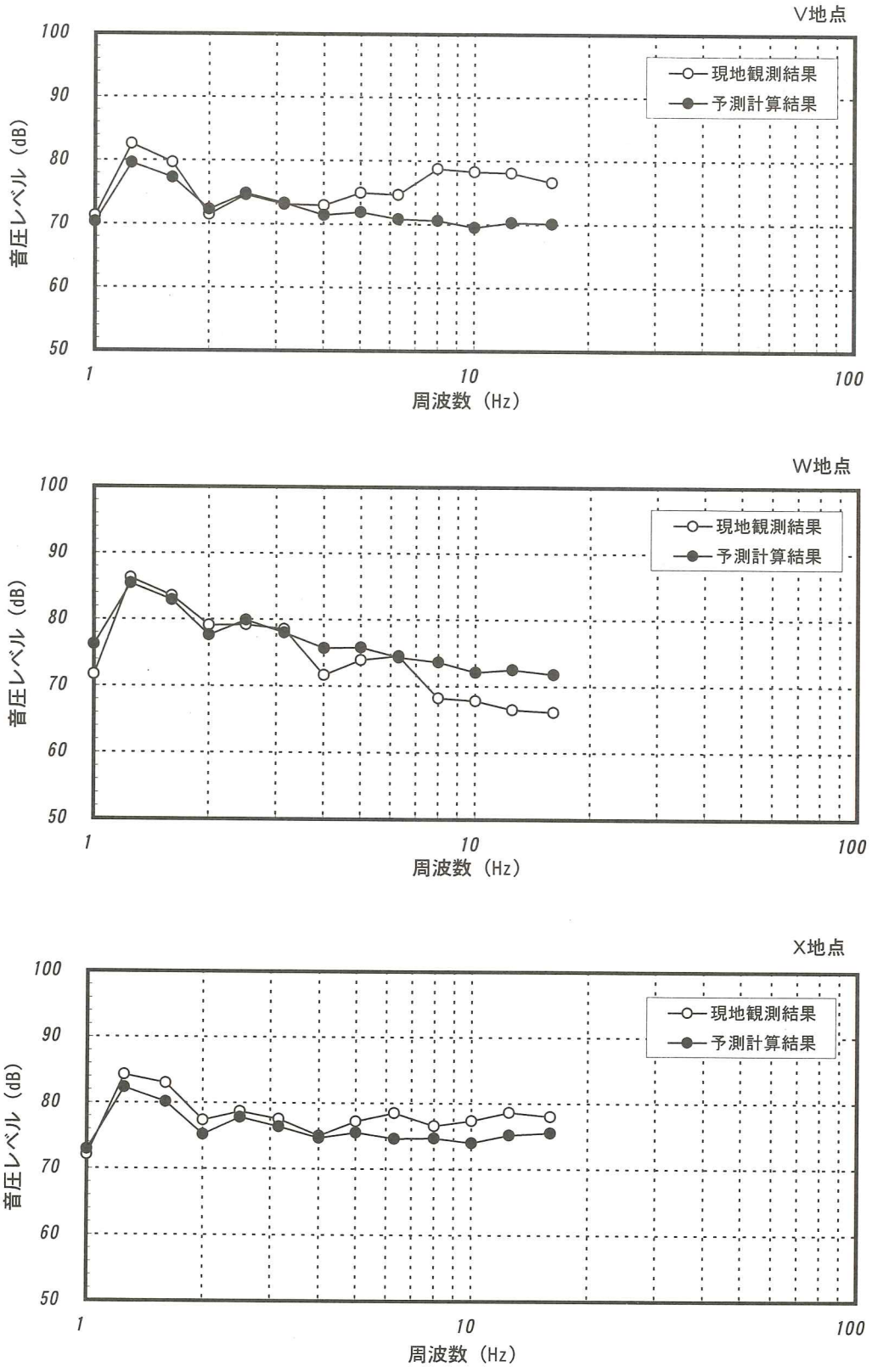


図-5.1　現地観測結果と予測計算結果の比較（1/3オクターブ分析）

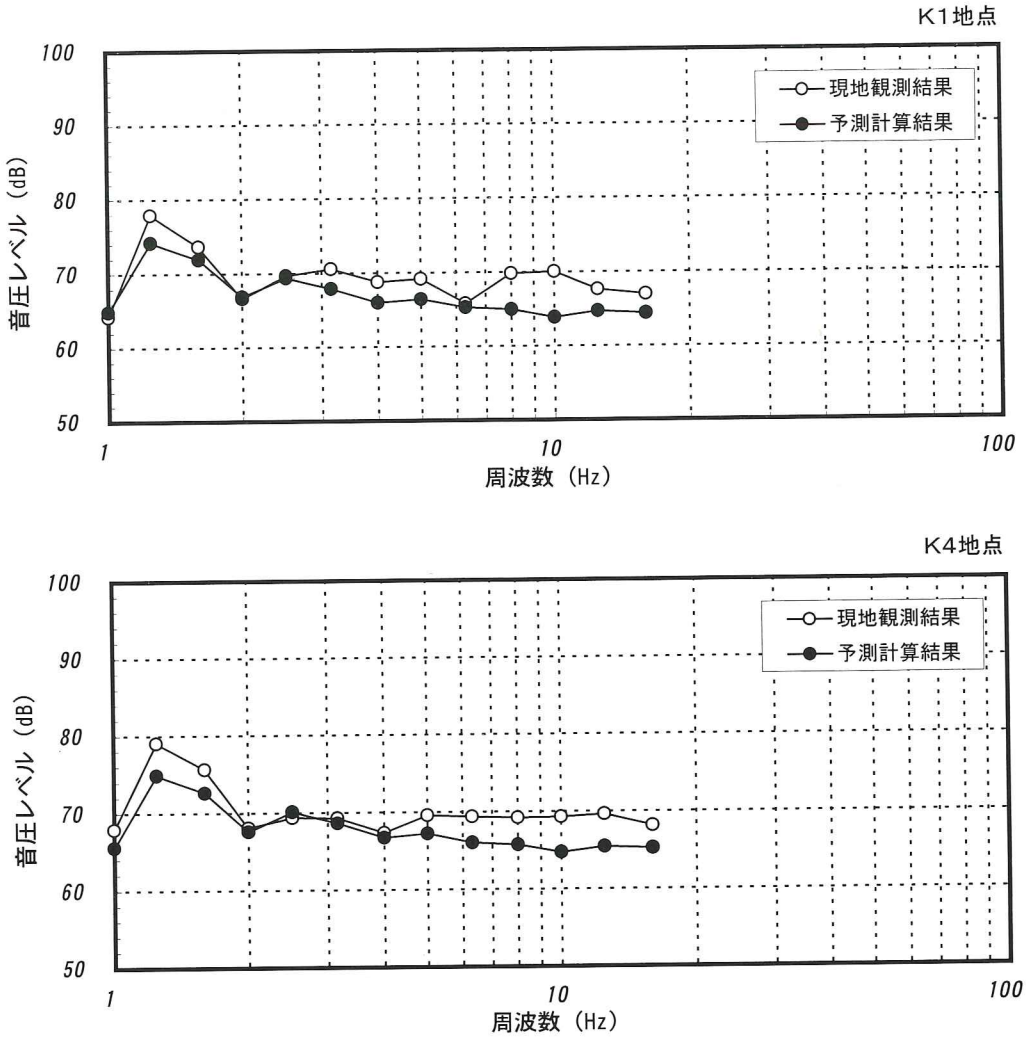


図-5.2　　現地観測結果と予測計算結果の比較（1/3オクターブ分析）

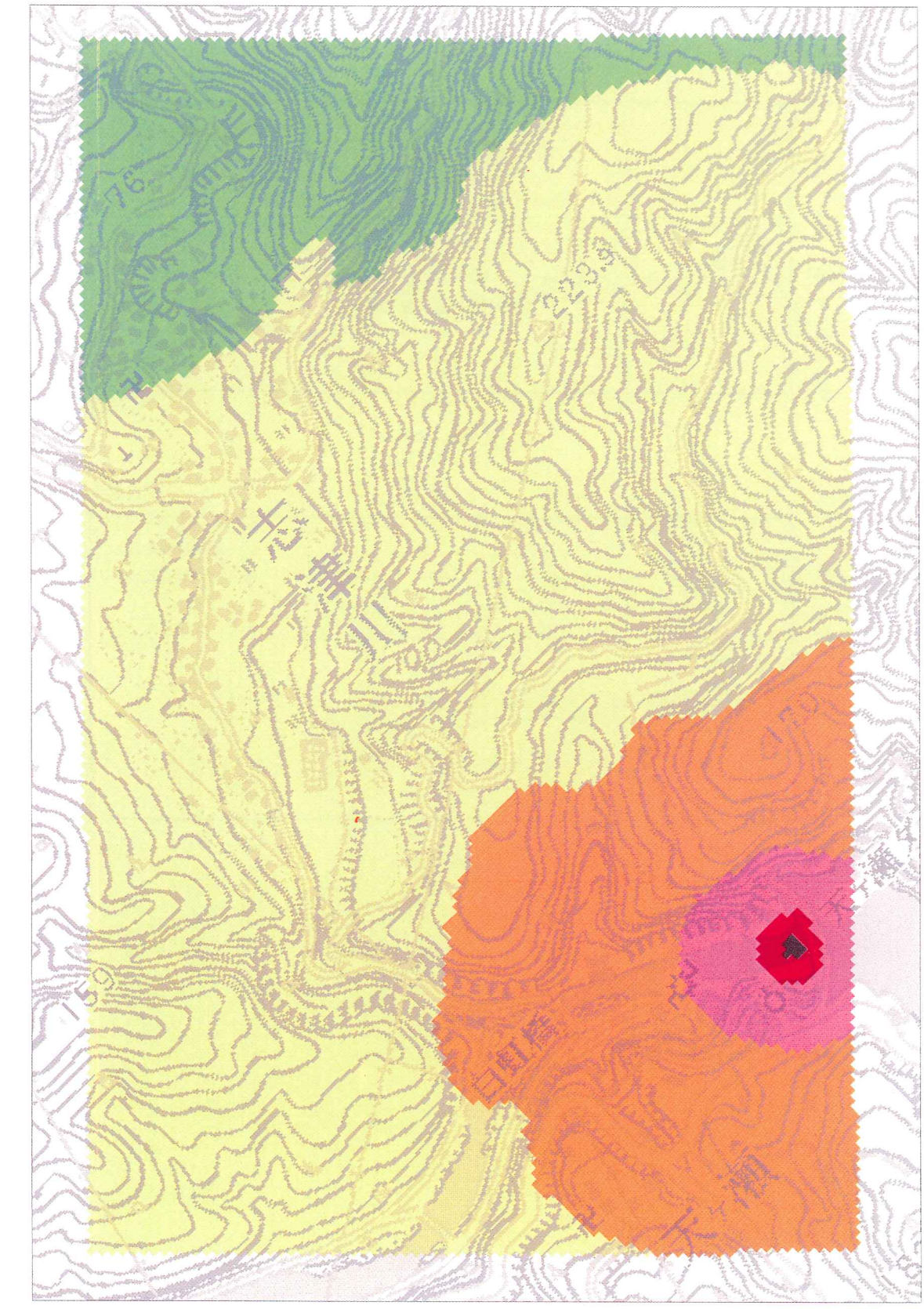


図-5.3(1)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 1-1）

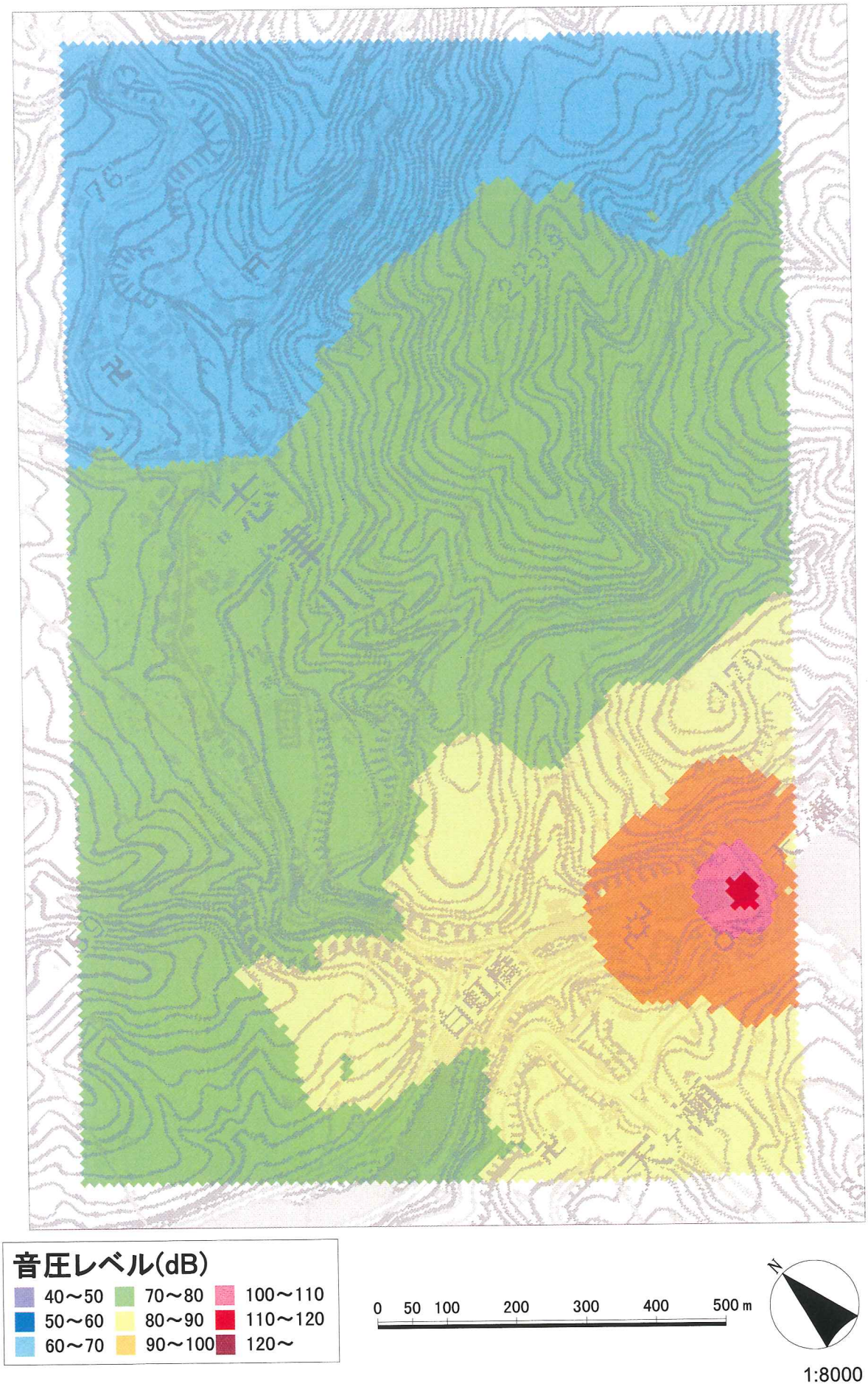


図-5.3(2)　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 1-2）

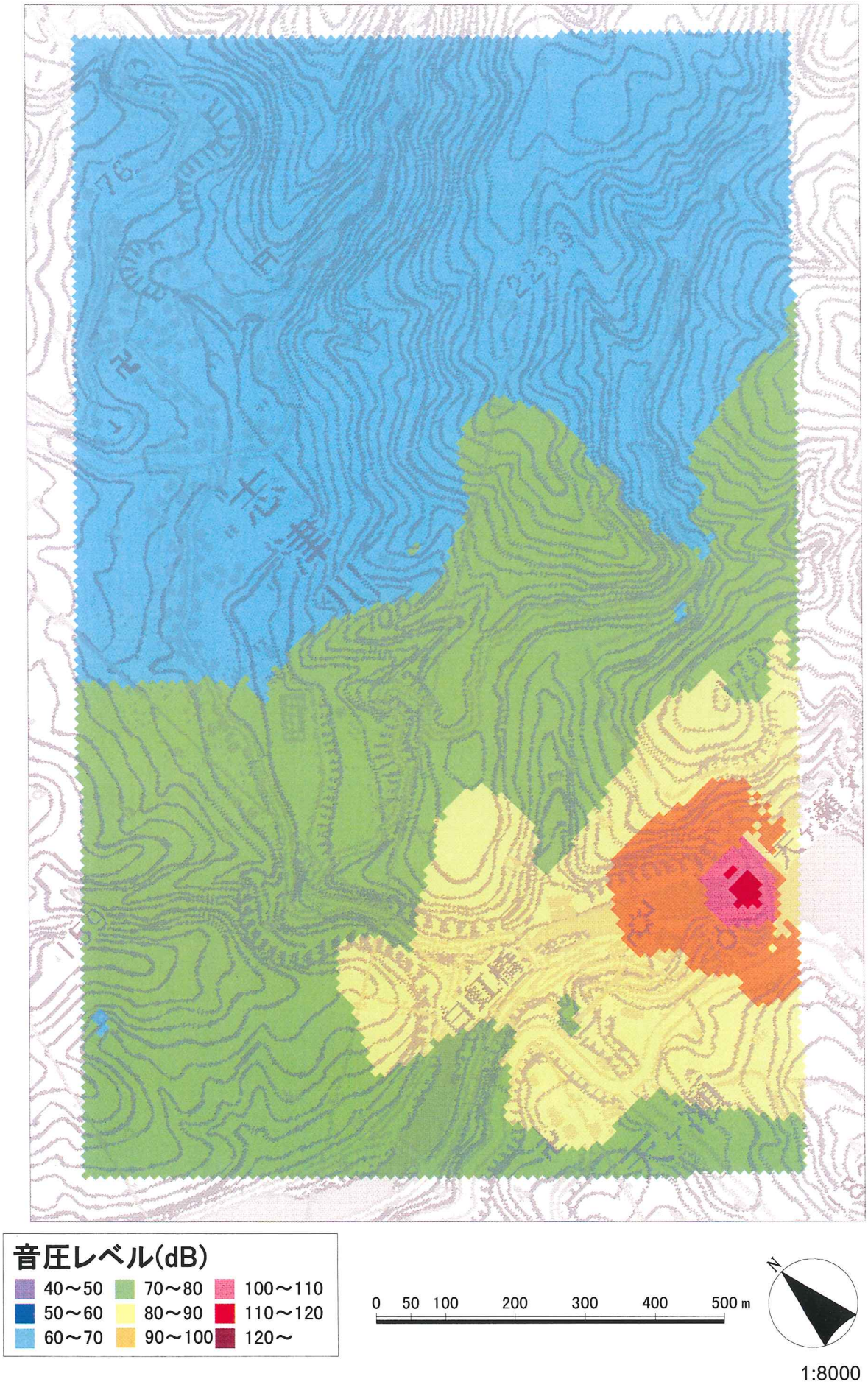


図-5.3(3)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 1-3）



図-5.4(1)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 2-1）

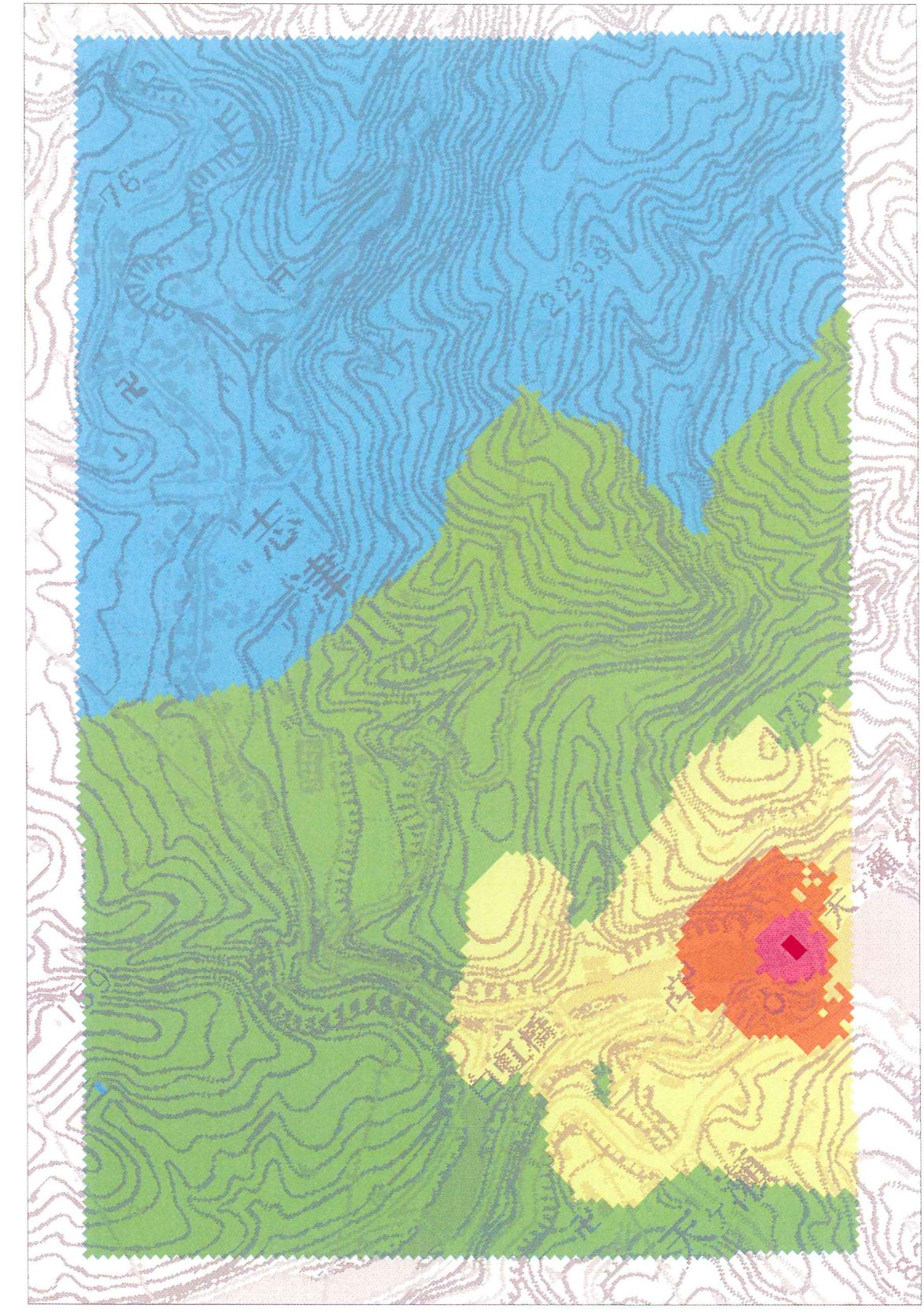


図-5.4(2)　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 2-2）

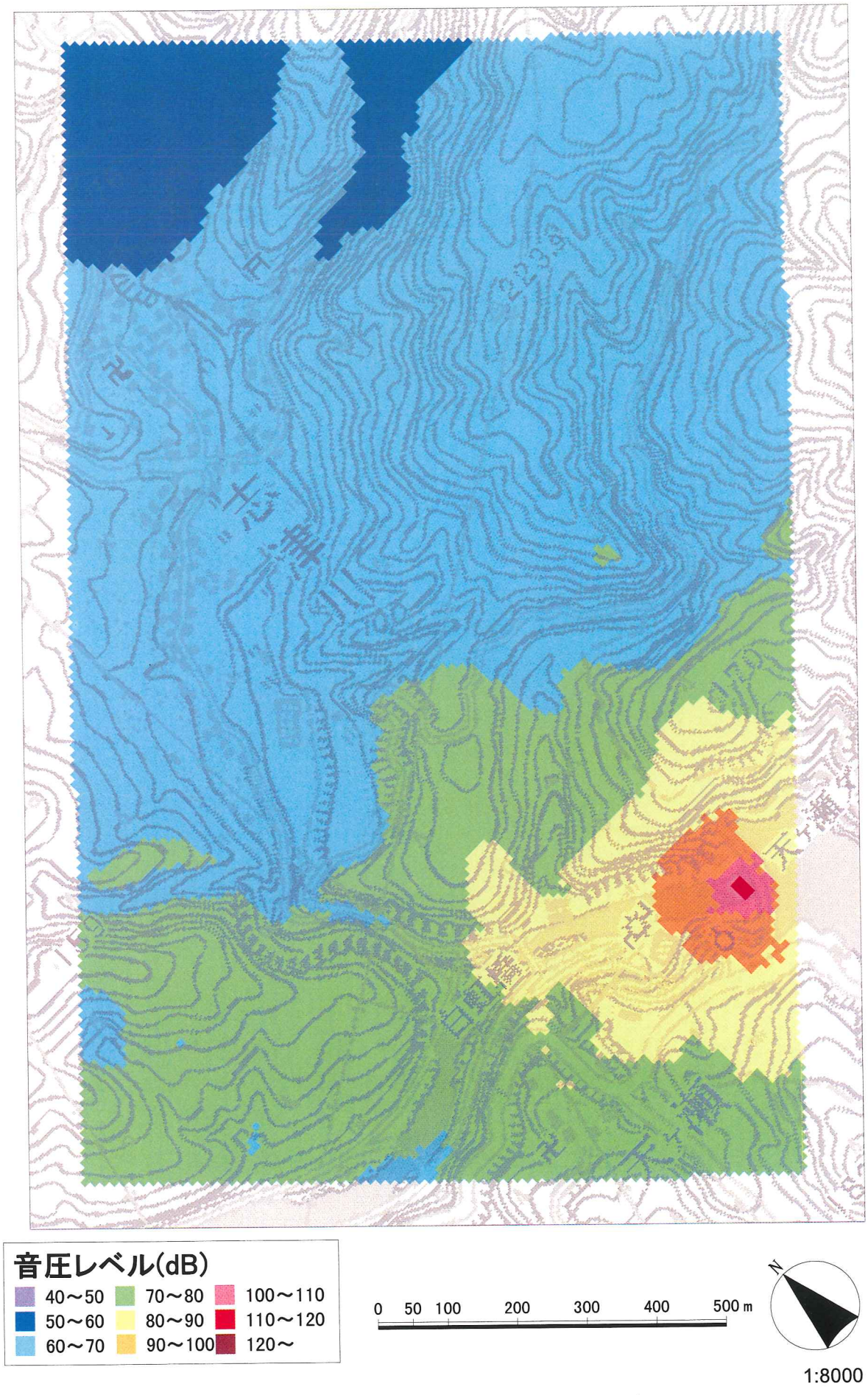


図-5.4(3)　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 2-3）

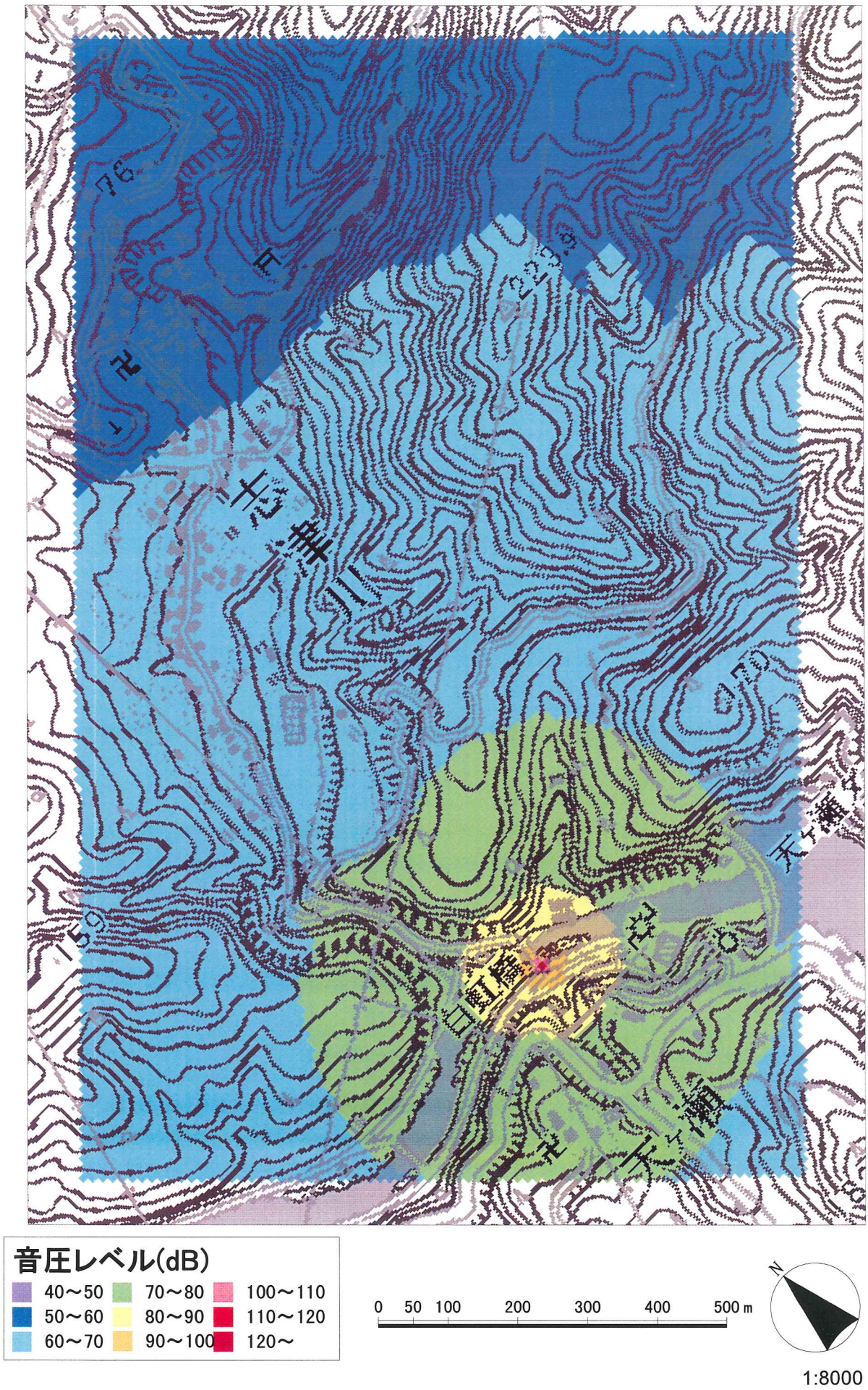


図-5.5(1)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 3-1）

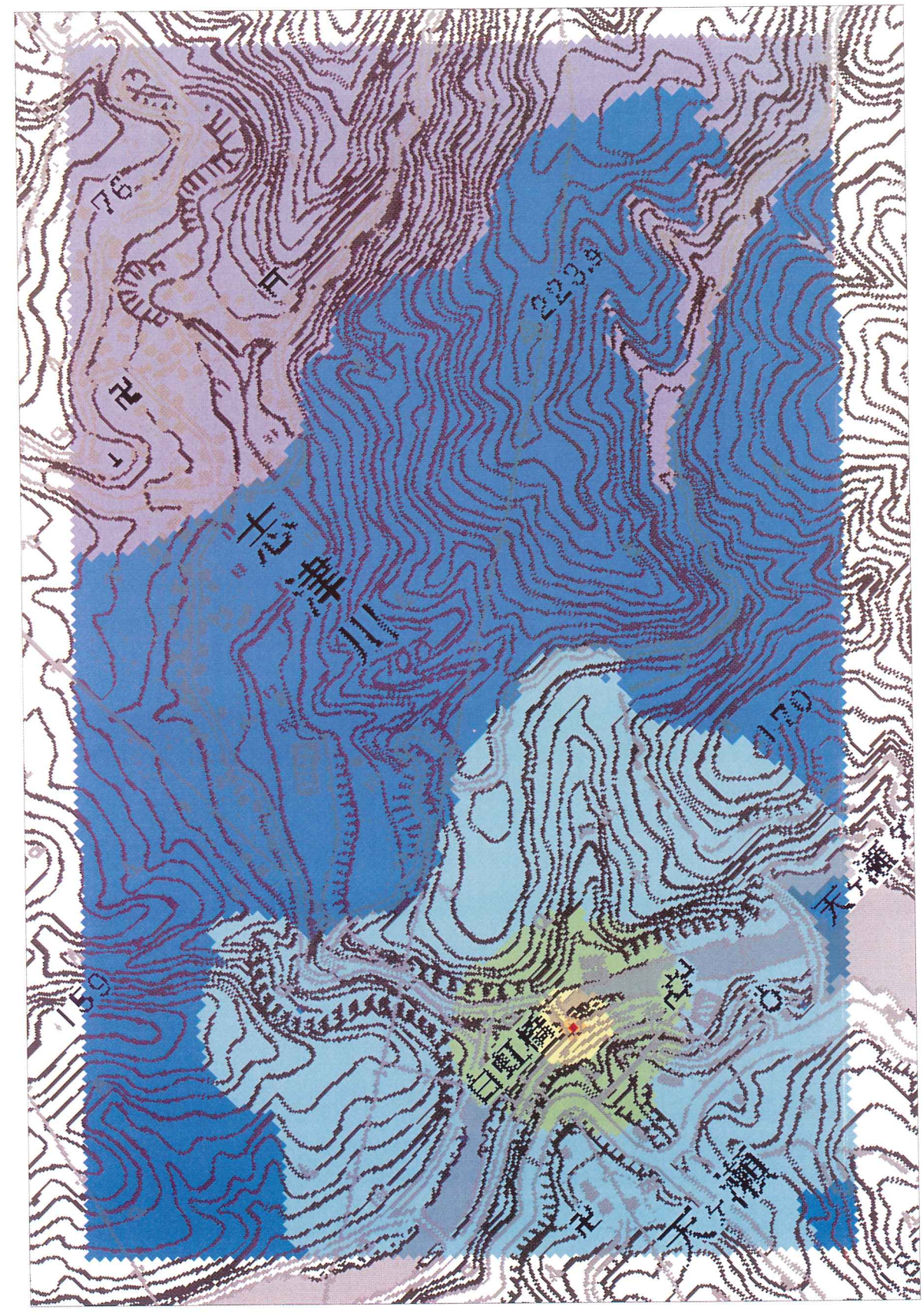


図-5.5(2)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 3-2）

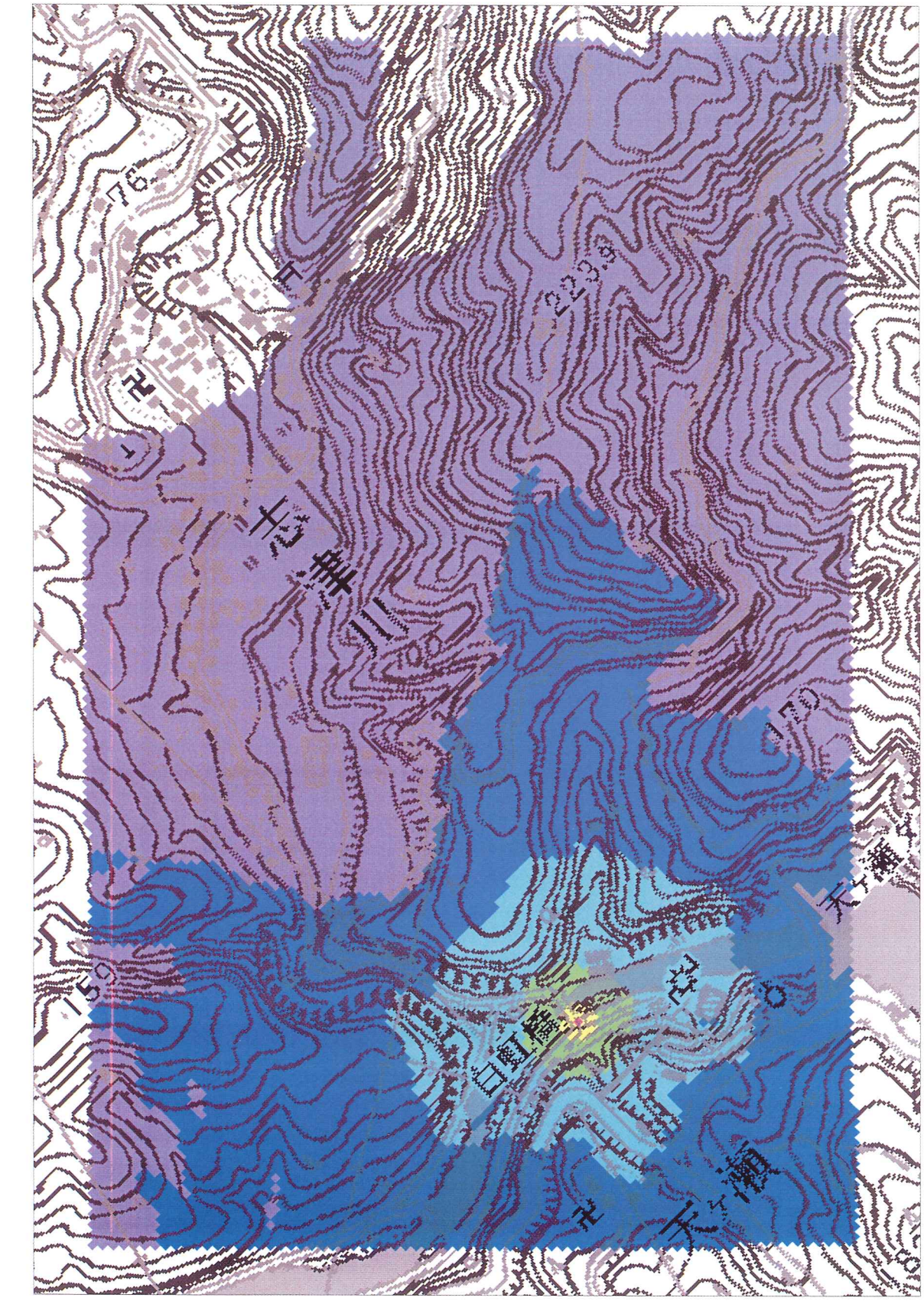


図-5.5(3)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 3-3）

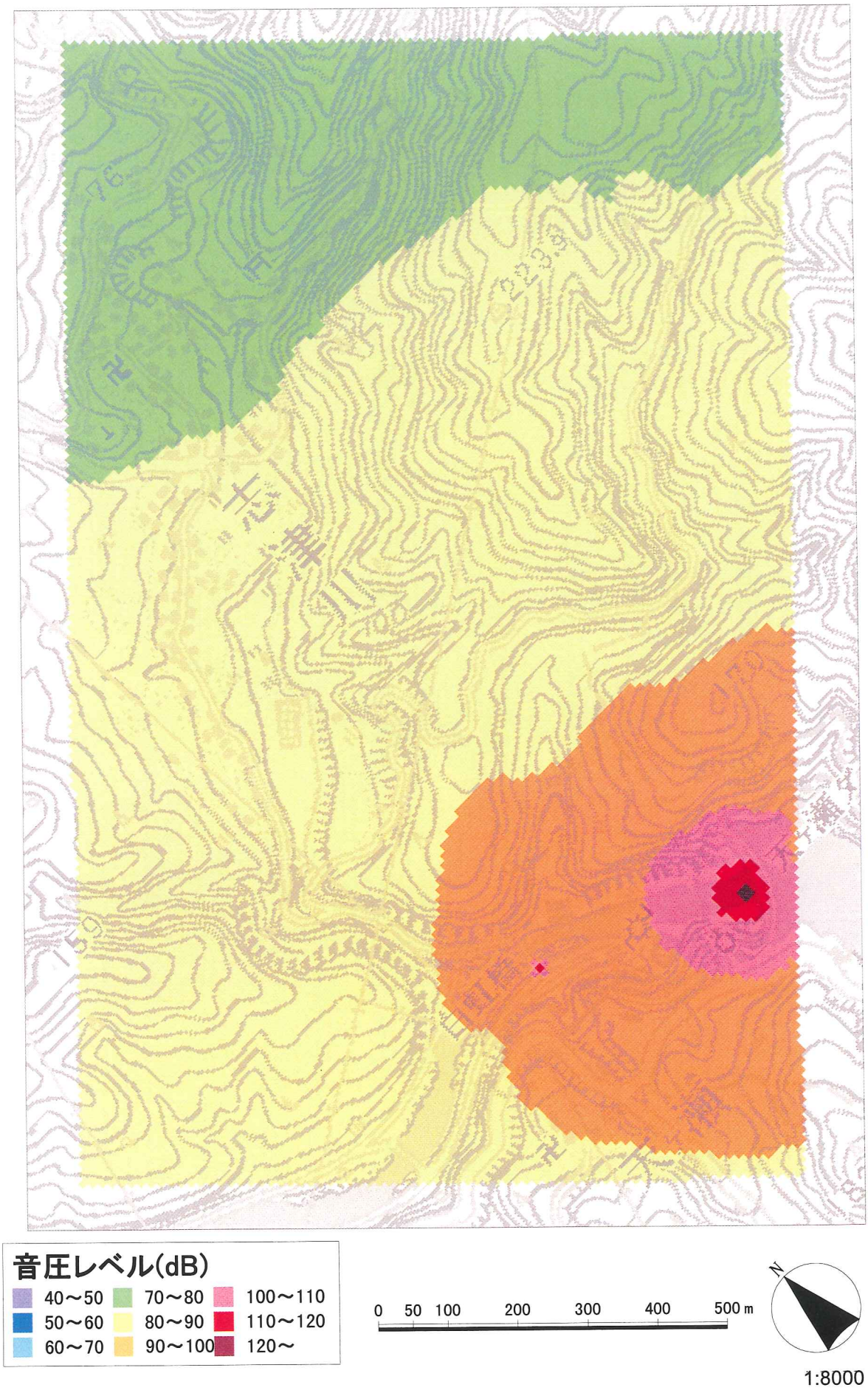


図-5.6(1)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 4-1）

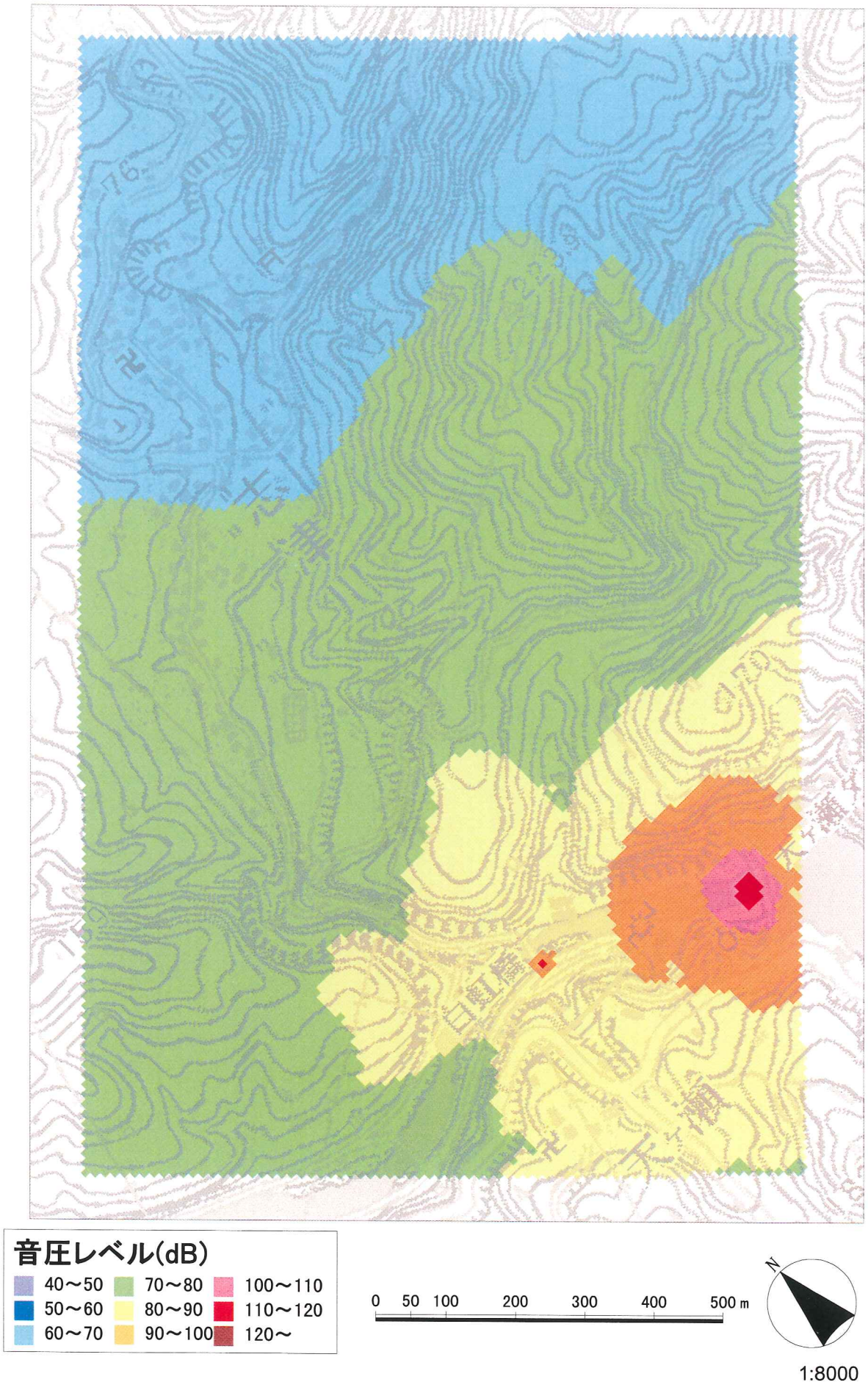


図-5.6(2)　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 4-2）

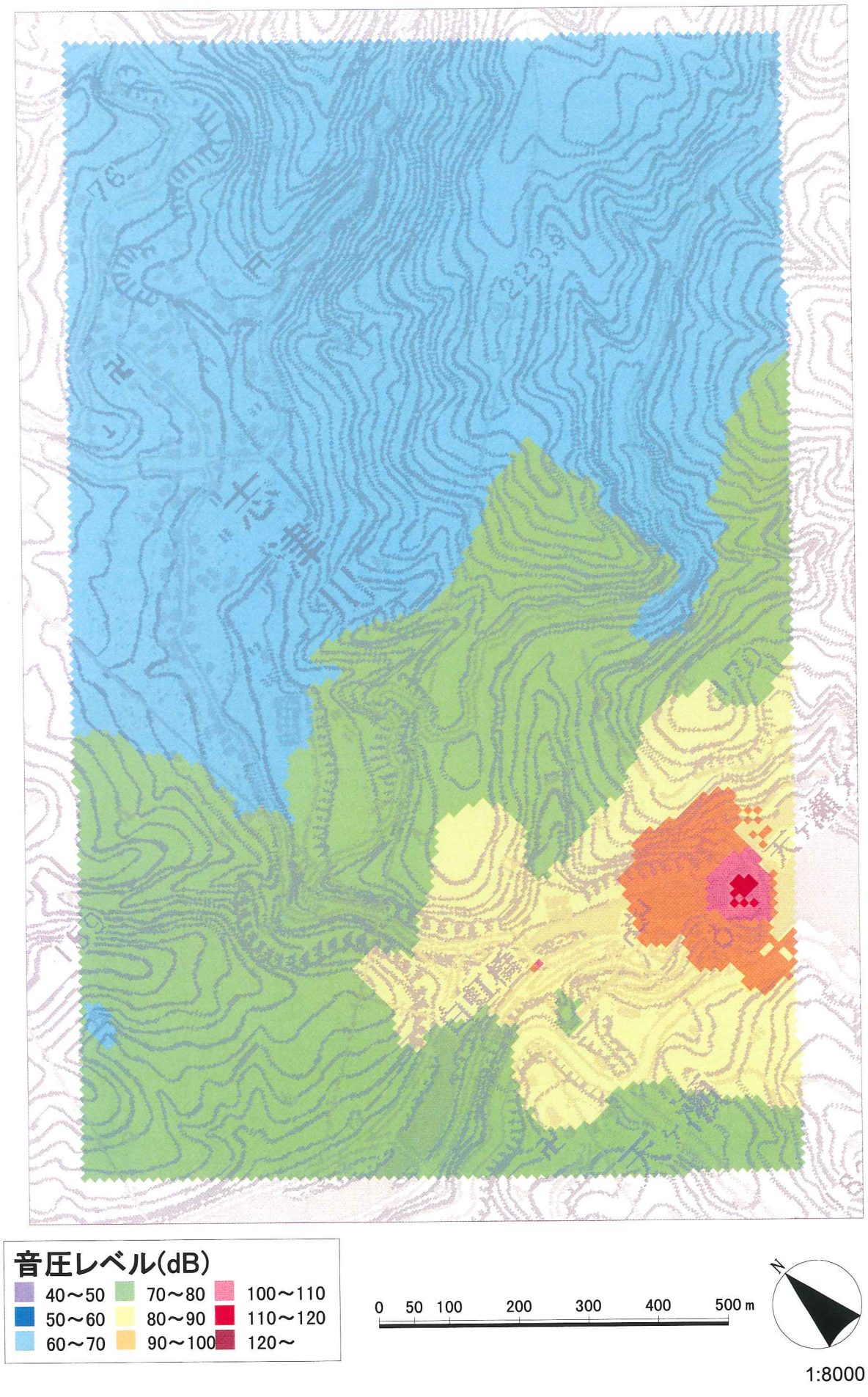


図-5.6(3)　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 4-3）

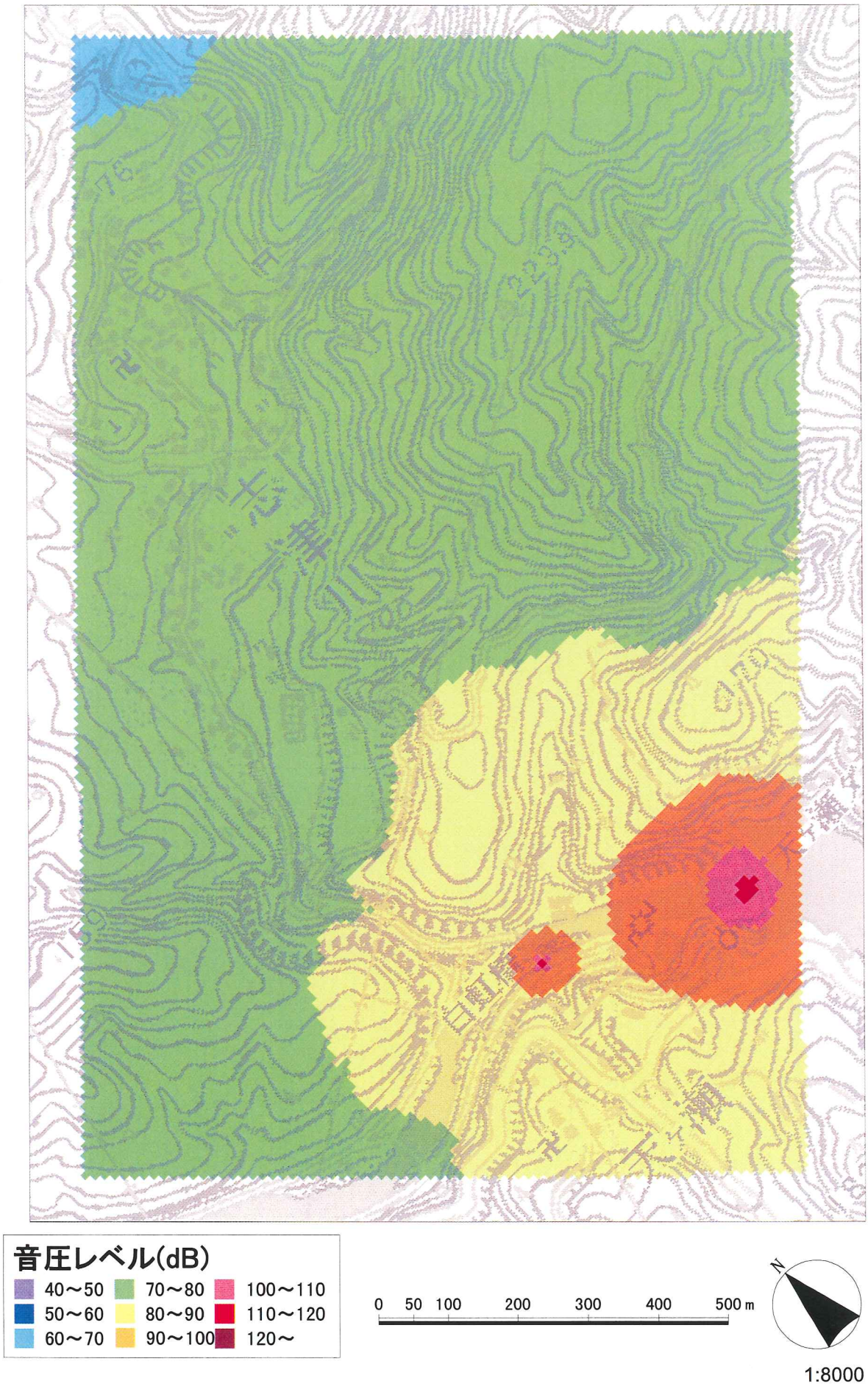


図-5.7(1)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 5-1）

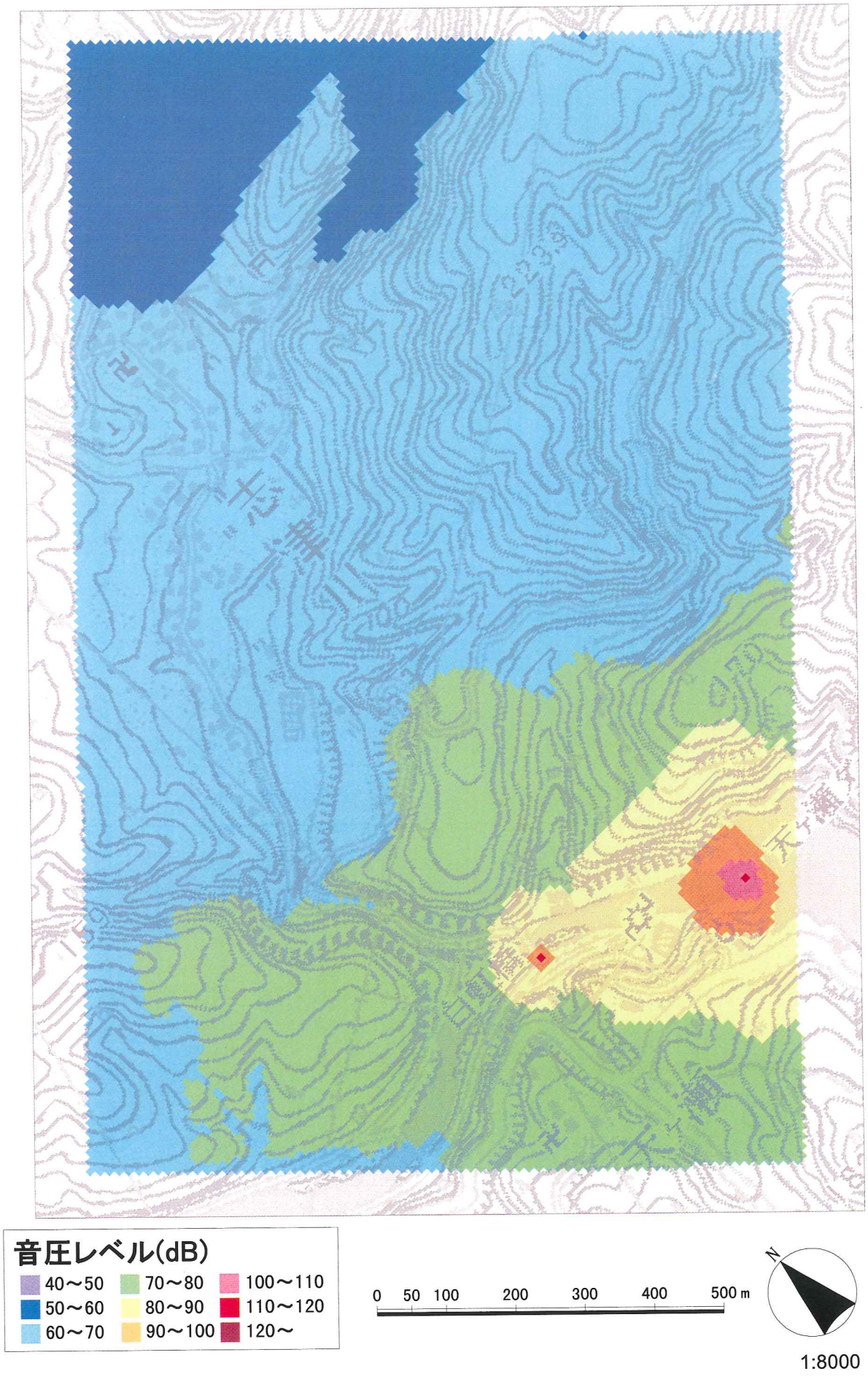


図-5.7(2)　　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 5-2）

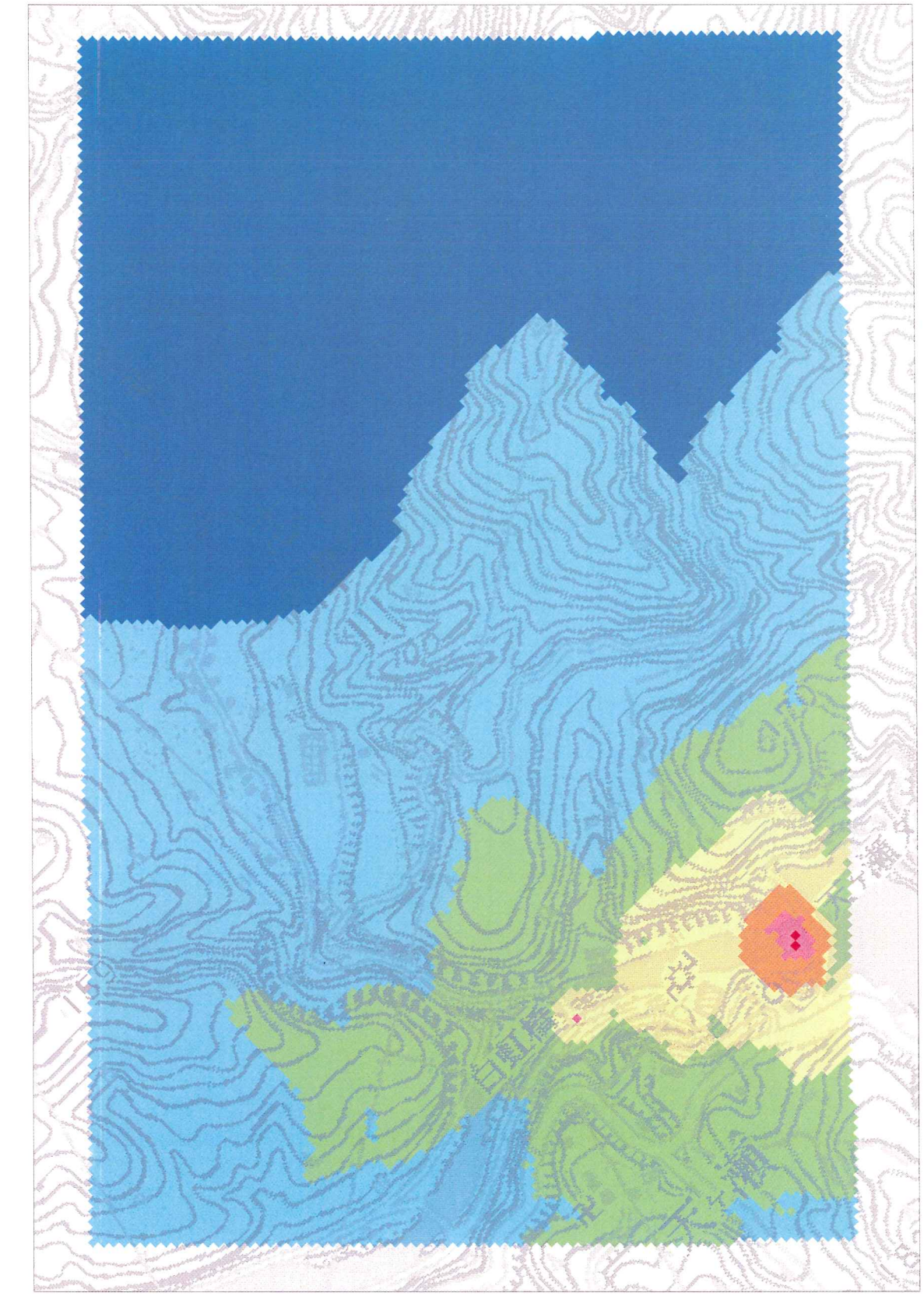


図-5.7(3)　低周波音伝搬予測計算結果（CASE 5-3）

6. おわりに

本報告書は、これまでに実施された天ヶ瀬ダム新設放流設備の放流音特性の検討に引き続くもので、新設放流設備放流時の発生音について、既設放流設備の放流音特性との比較を行うとともに、既設放流設備ならびに新設放流設備から放流した場合の低周波音の伝搬予測結果を取りまとめたものである。

最後に、本検討を進めるに当たって、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所をはじめとする多くの方々のご指導並びにご協力を賜りましたことを、ここに記して感謝の意を表します。

＜参考文献＞

1) 小野雅人，桜井力：減勢工の発生音特性に関する現地観測，ダム工学会第 11 回研究発表会講演集，pp.13-15，2000.11

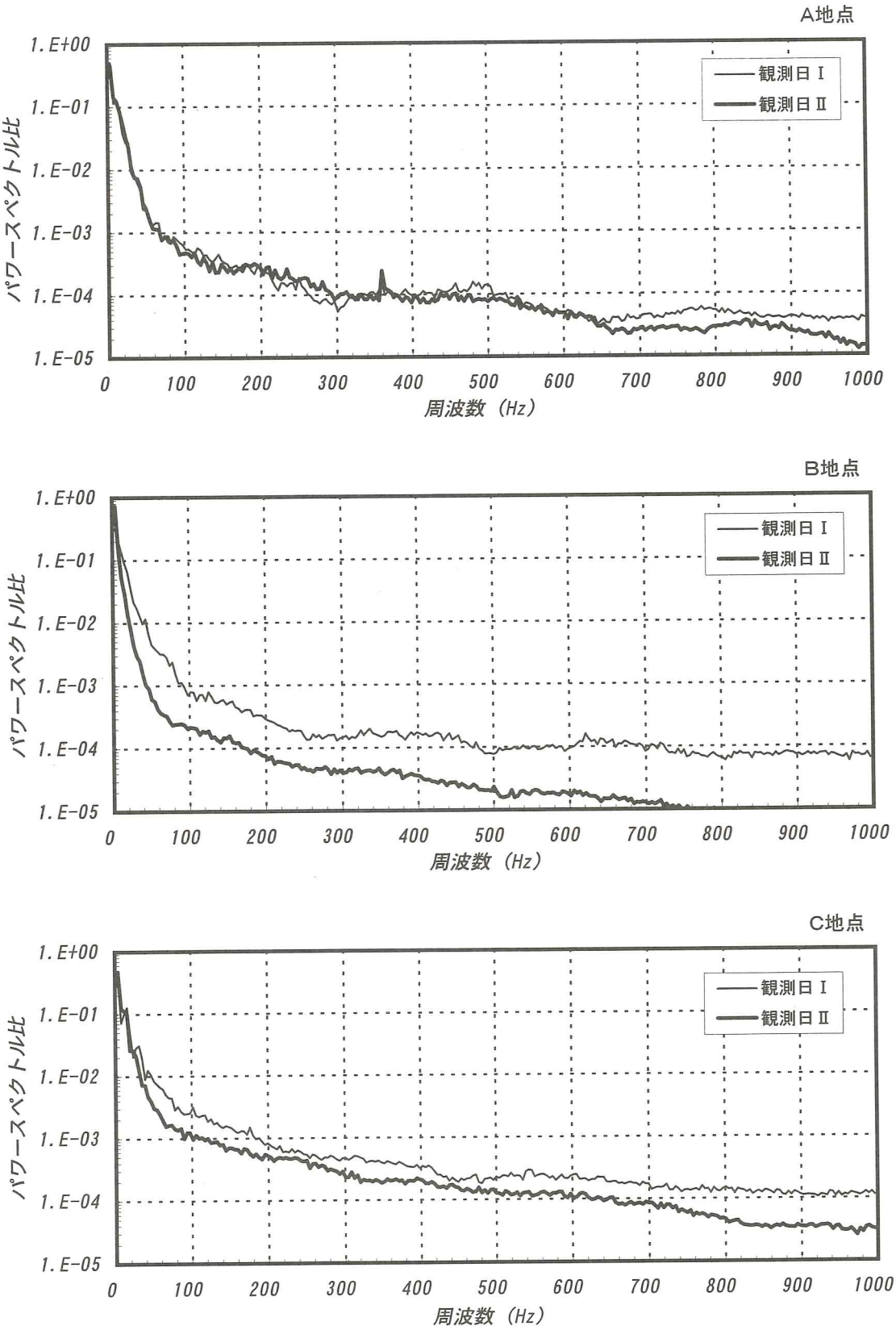
2) 桜井力，柏井条介，櫻井寿之：天ヶ瀬ダム水理模型実験報告書（その 2）－トンネル式放流設備の発生音特性－，土木研究所資料，第 3718 号，2001.3

3) 例えば、時田保夫監修：音の環境と制御技術　第 1 巻基礎技術，フジ・テクノシステム，pp.218-219，2000.2

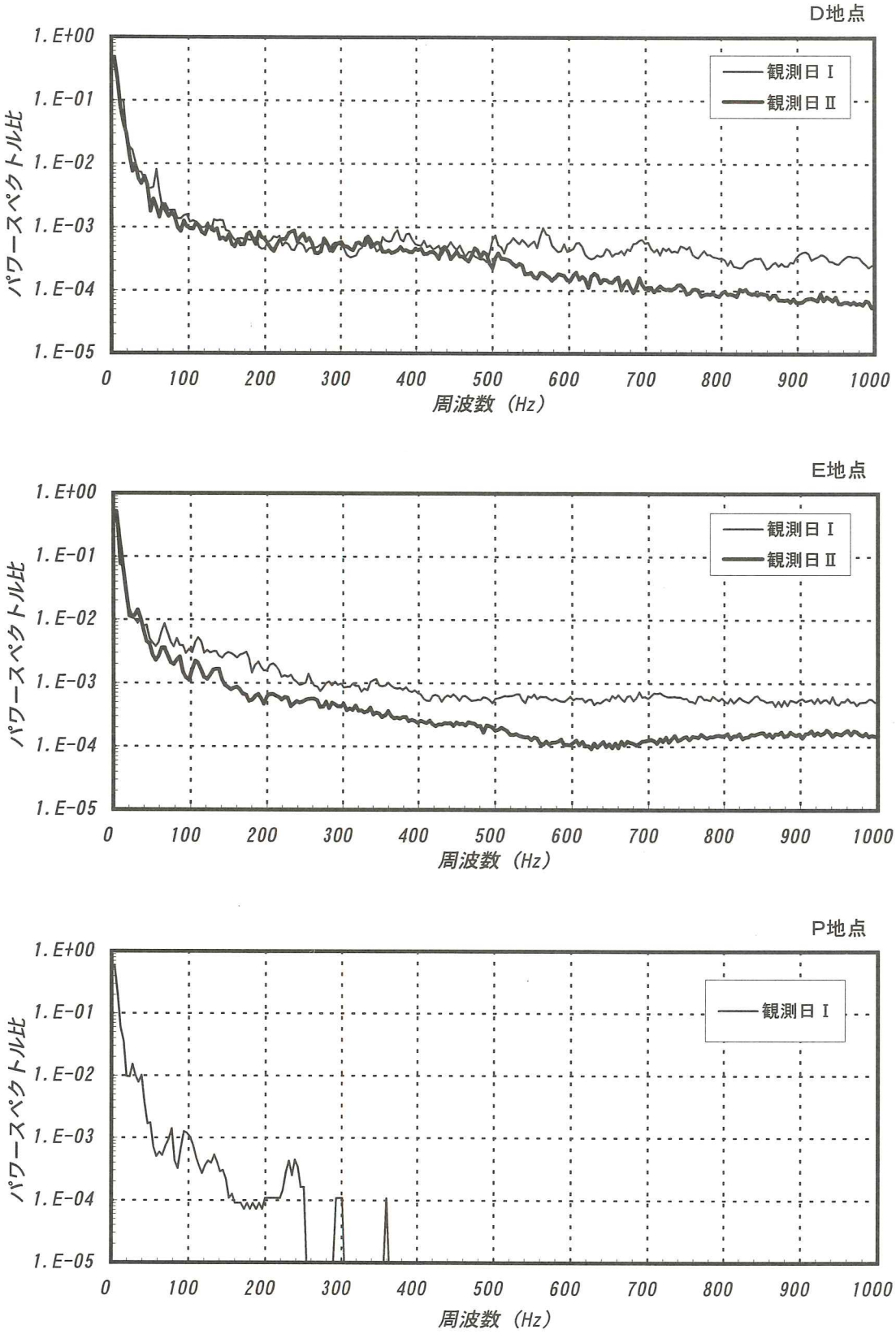
4) 例えば、中野有朋著：超低音（聞えない音），技術書院，pp.88-90，1994.6

5) 建設省近畿地方建設局：天ヶ瀬ダム建設誌，1966.3

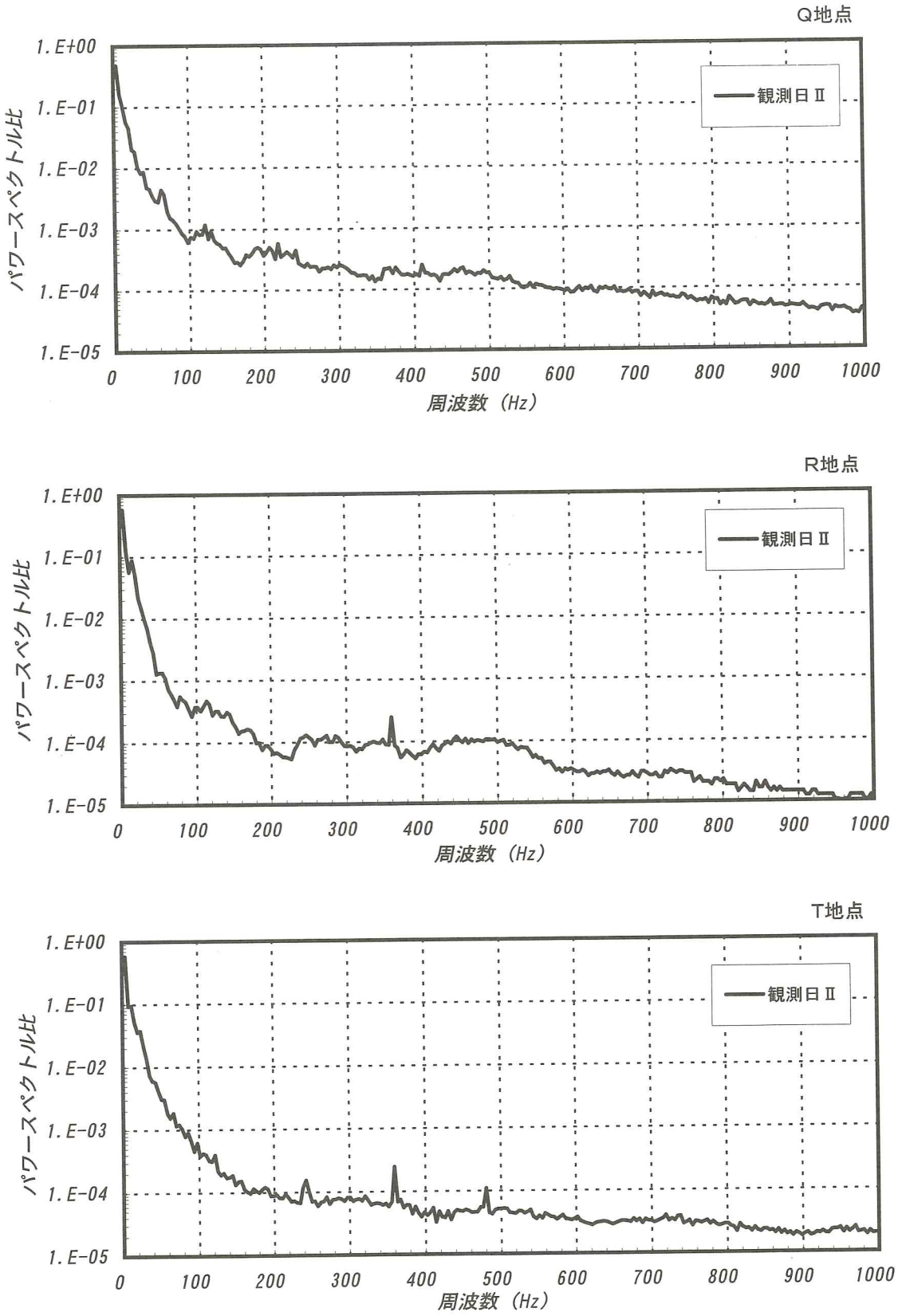
付　　図



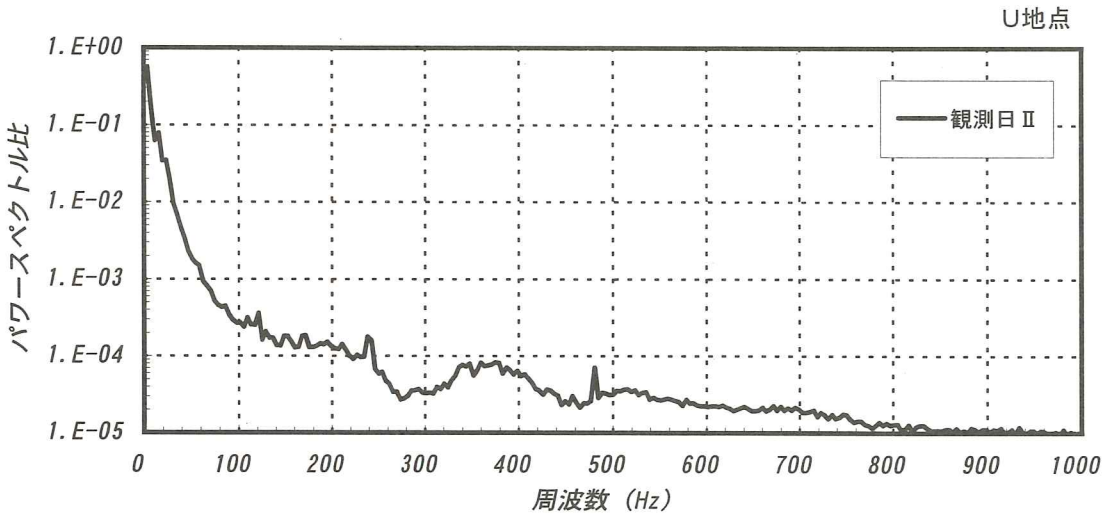
付図-1　　各観測地点におけるパワースペクトル分布

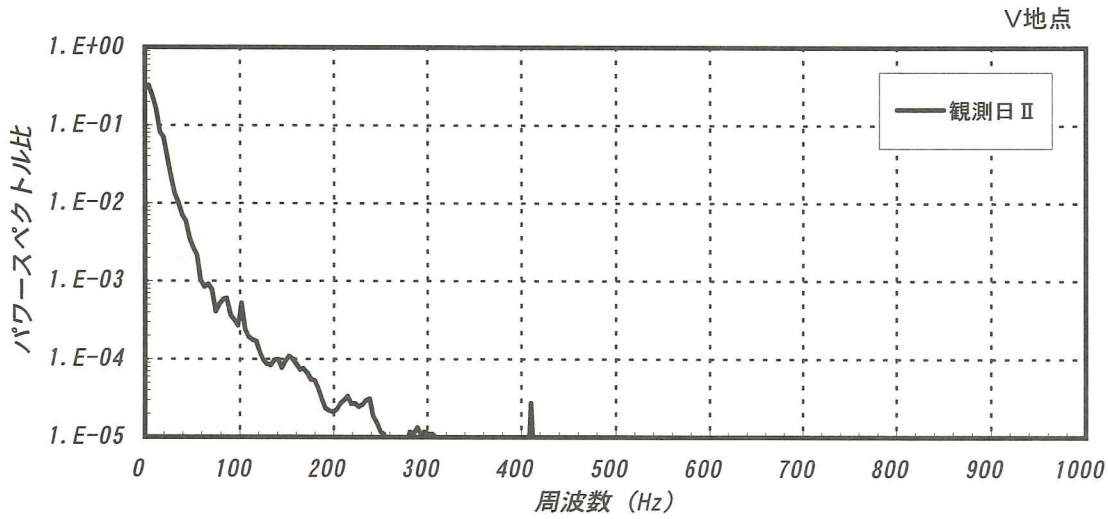


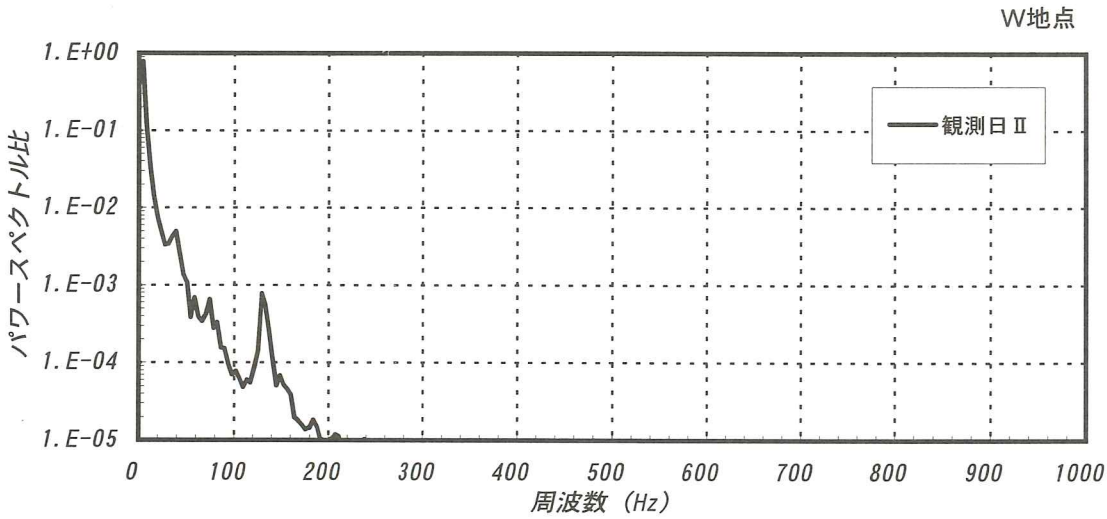
付図-2　　各観測地点におけるパワースペクトル分布



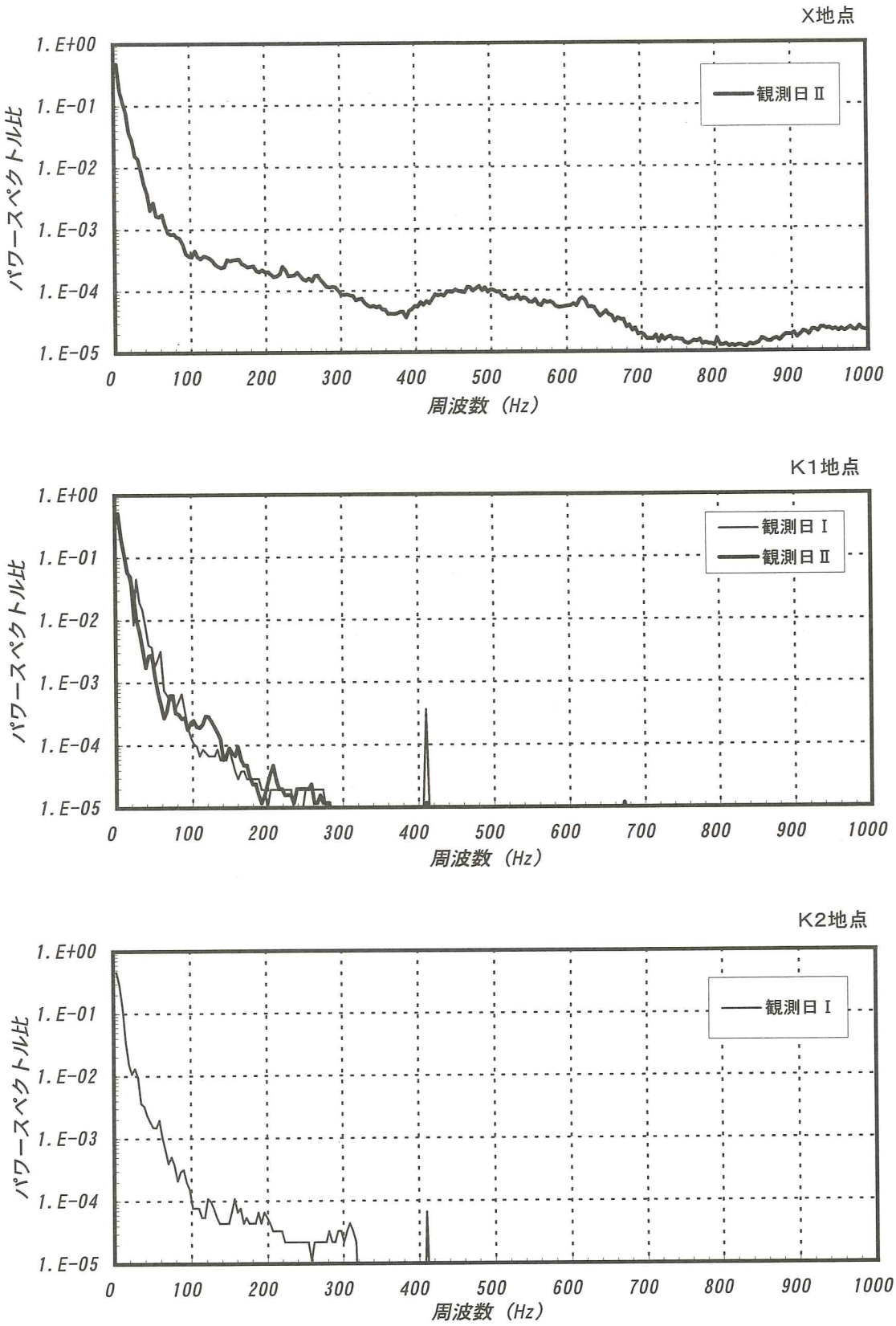
付図-3　　各観測地点におけるパワースペクトル分布



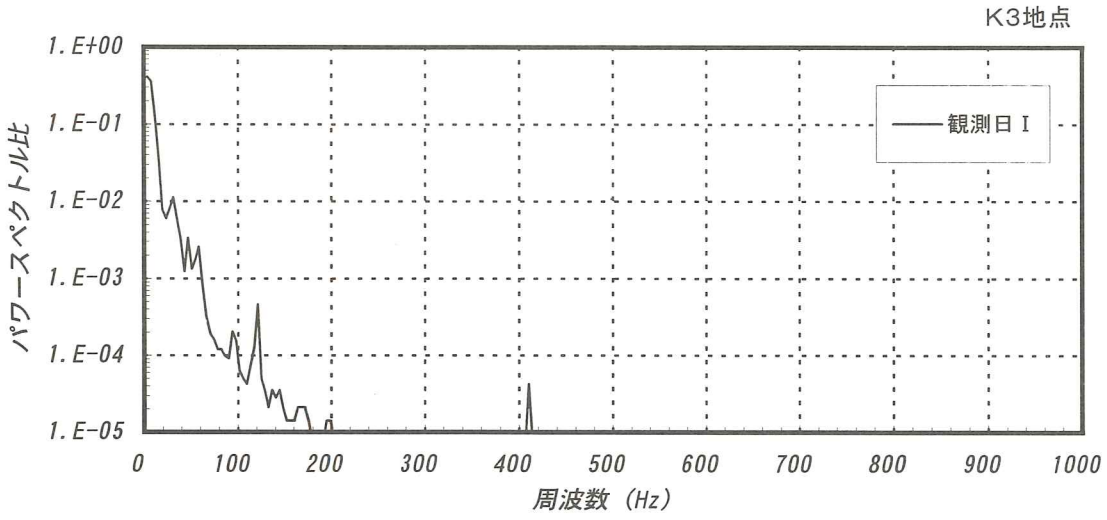


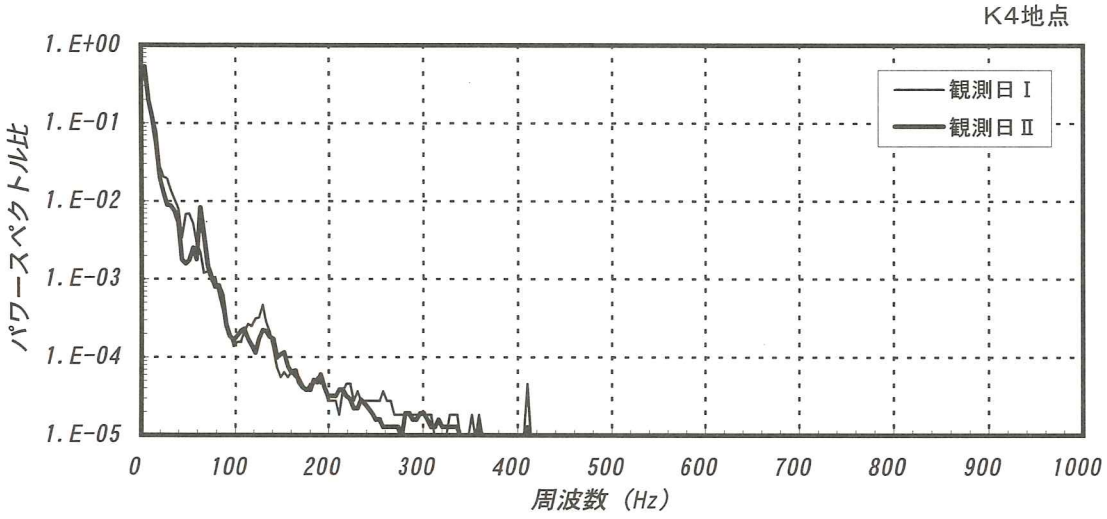


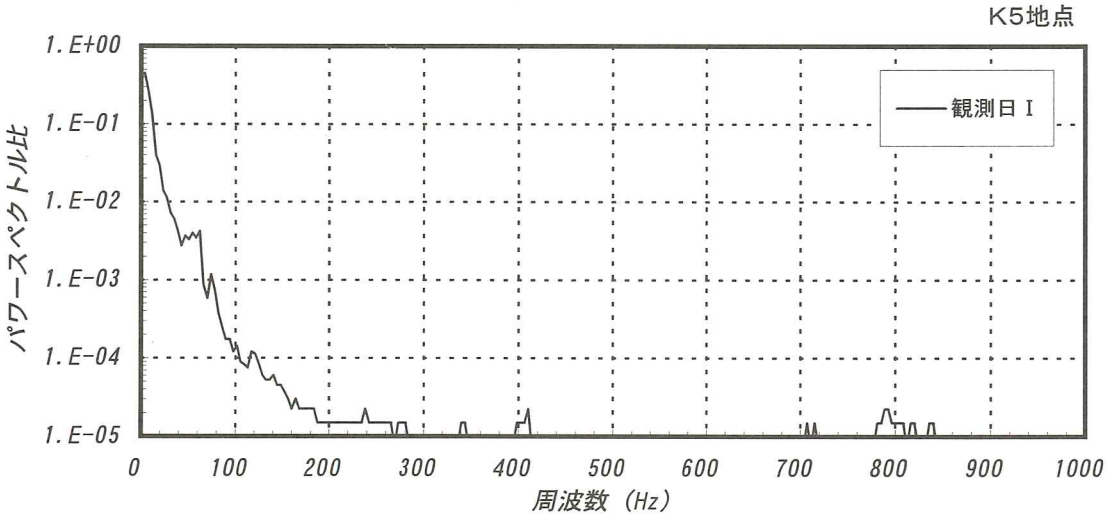
付図-4　　各観測地点におけるパワースペクトル分布



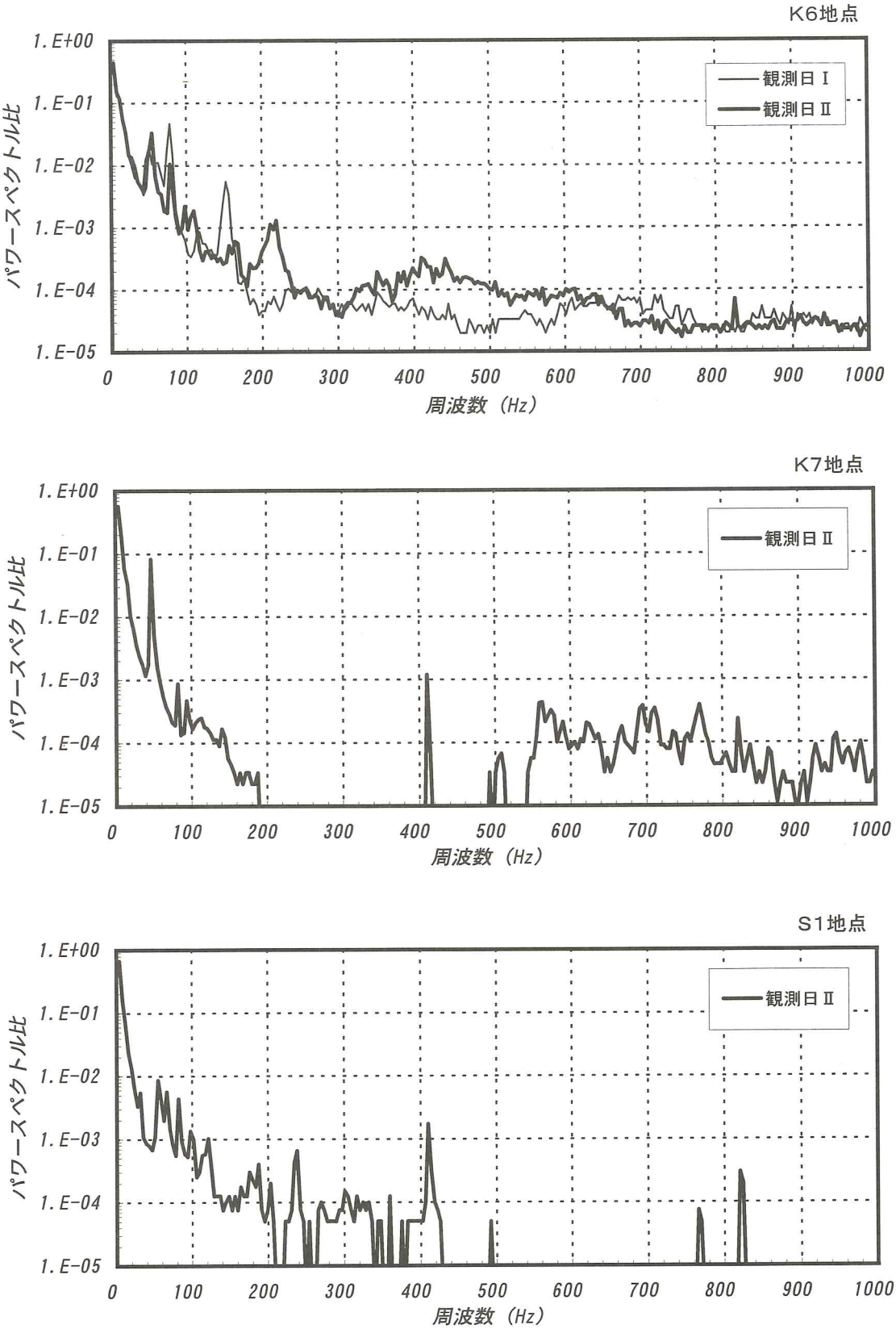
付図-5　　各観測地点におけるパワースペクトル分布



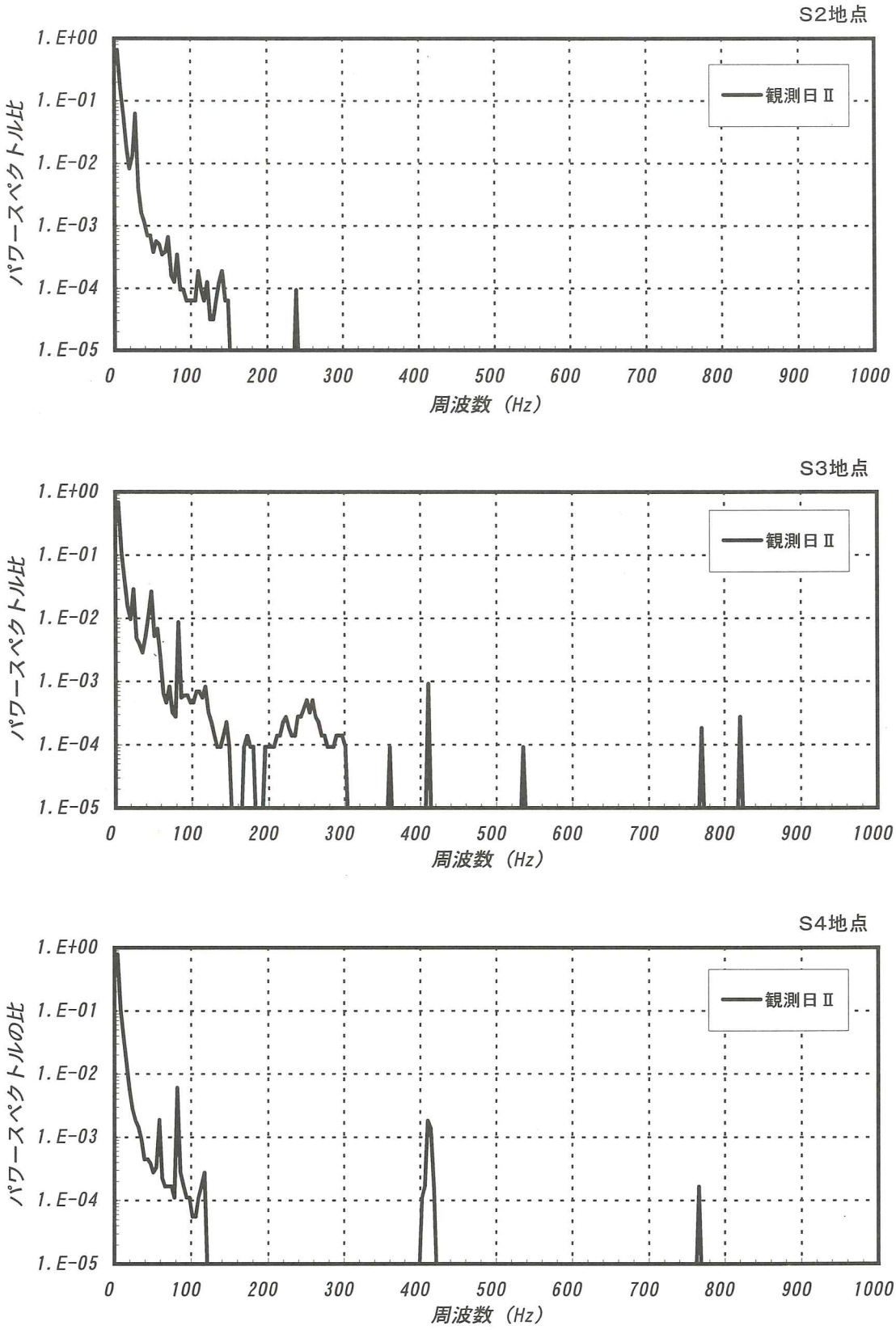




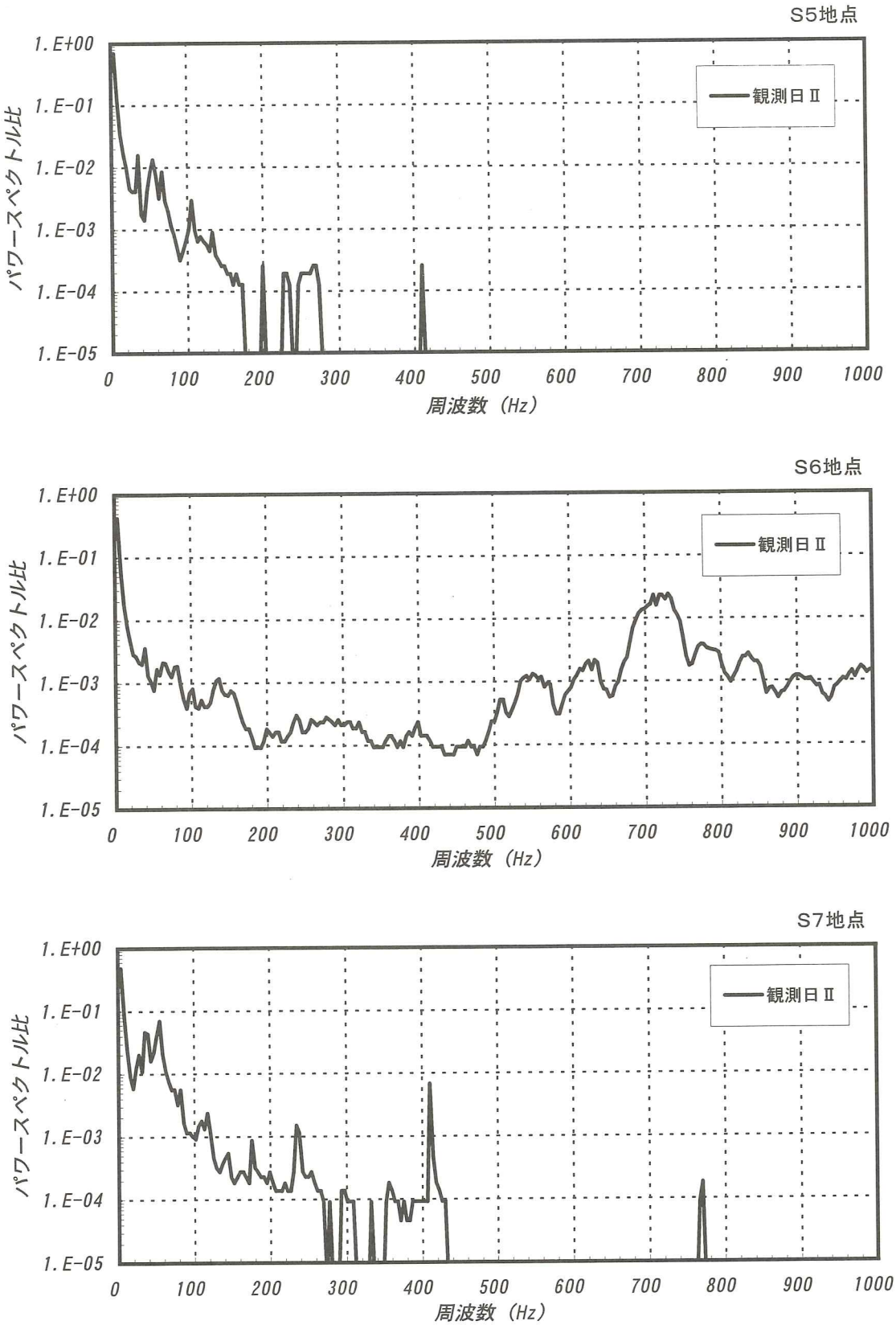
付図-6　　各観測地点におけるパワースペクトル分布



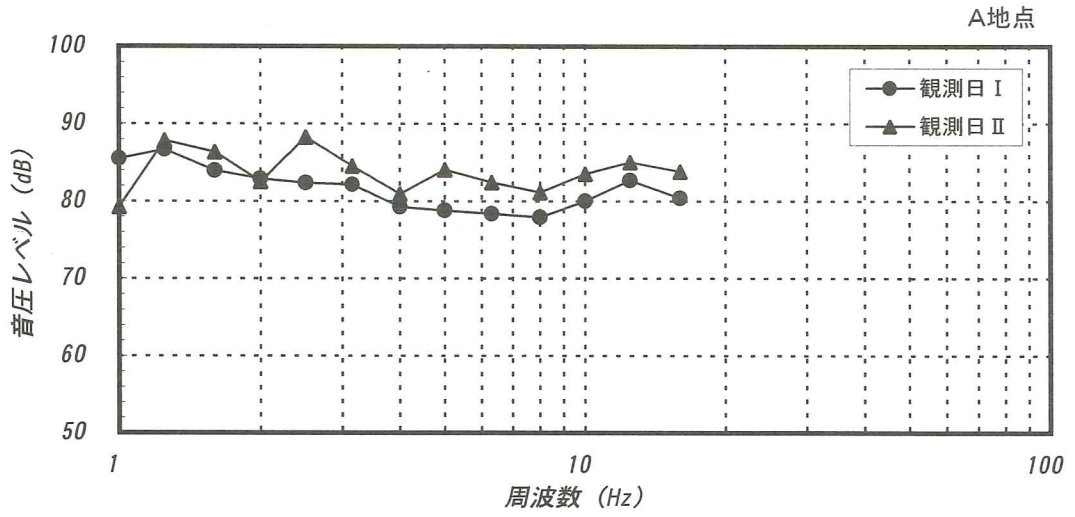
付図-7　　各観測地点におけるパワースペクトル分布

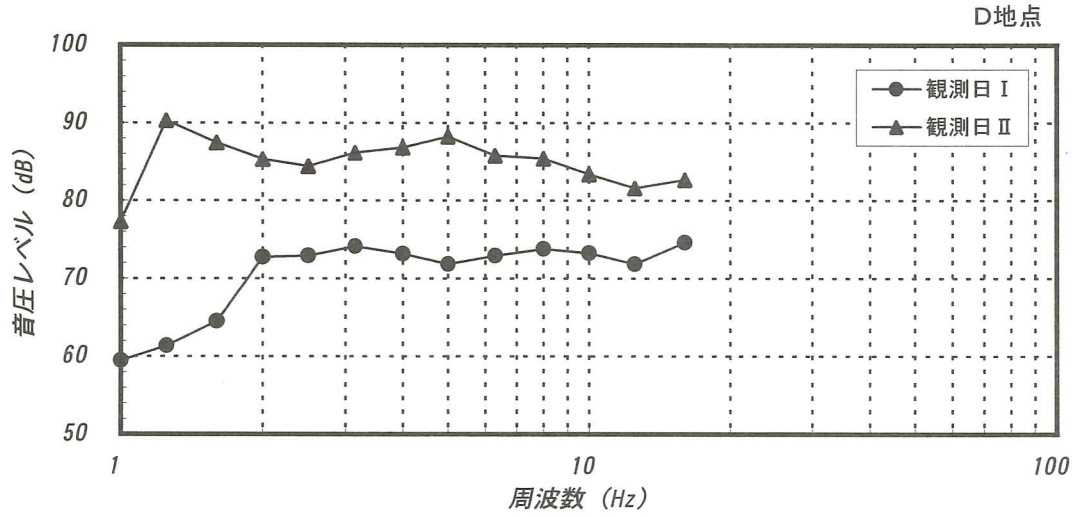


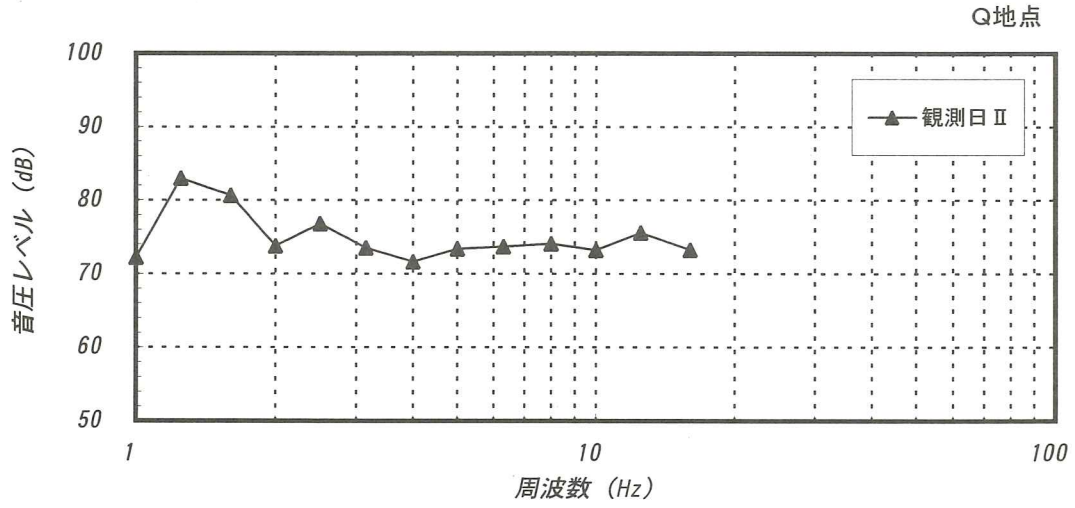
付図-8　　各観測地点におけるパワースペクトル分布



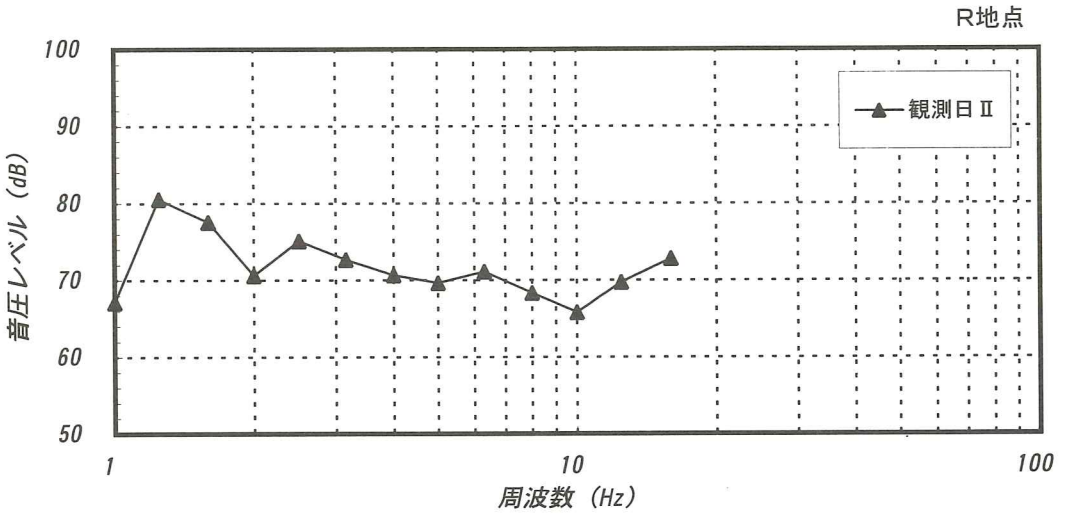
付図-9　　各観測地点におけるパワースペクトル分布

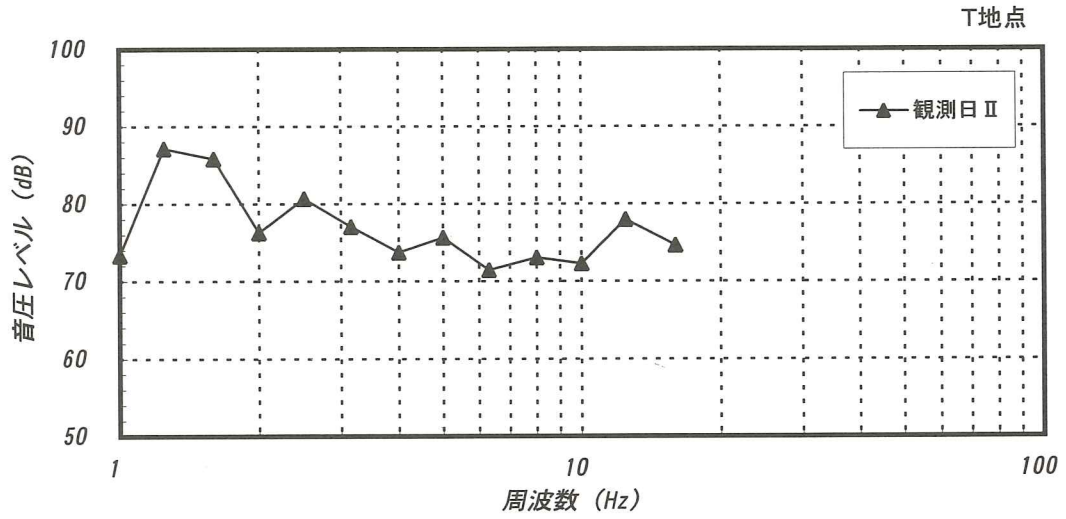


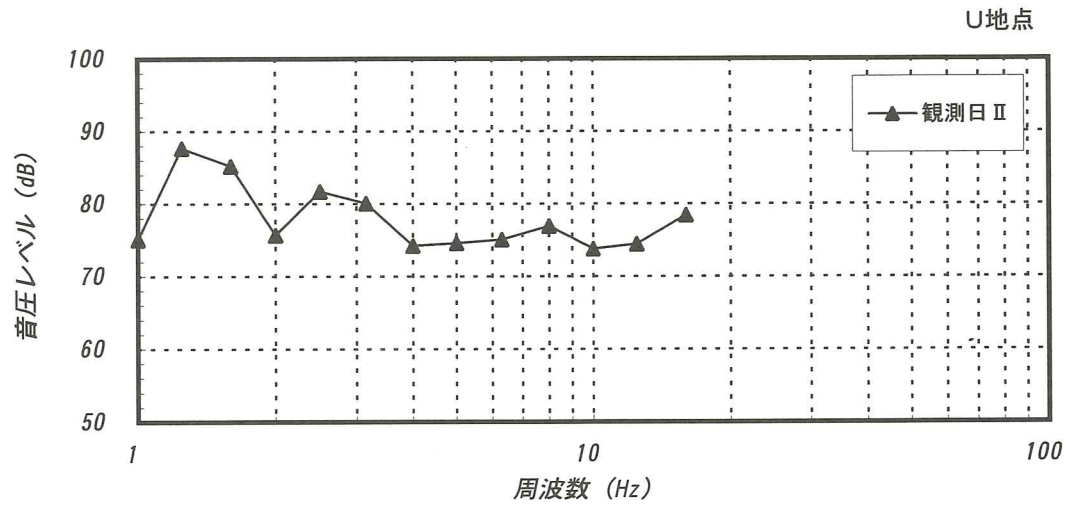




付図-10　　各観測地点における音圧レベル（1/3オクターブ分析）







付図-11　　各観測地点における音圧レベル（1/3オクターブ分析）