

水中音の予測について

(1) 工事の実施

1) 予測の結果

(a) 騒音（水中音）

海中土木工事に伴って発生する水中音が、海域生物に及ぼす影響を予測しました。

a) 予測の概要

工事に伴う水中音については、ウミガメ類及び魚類への影響が想定されます。これらに対して影響を及ぼす可能性が考えられる水中音の主な発生源としては、海中土木工事による水中音が考えられます。これらの音源から発生する水中音が海域生物に及ぼす影響について、既往文献（(社)日本水産資源保護協会、1997）による同種の海中土木工事に関するデータをもとに発生源の音圧レベル及び周波数特性を推定し、水中音の距離減衰、港湾施設等の構造物による遮音効果等を考慮して海域生物の生息範囲における水中音圧レベルを予測し、水中音による海域生物への影響を予測しました。

○瞬時の音による体の損傷を評価する基準

音圧レベル（ピーク値）：220dB（re:1 μ Pa）

○瞬時の音による行動阻害を評価する基準

音圧レベル（RMS¹（実効値））：140dB（re:1 μ Pa）

b) 海中土木工事に伴う水中音の予測手法

(ア) 騒音発生源

工事に伴う水中音の主な発生源を以下に示します。

○海中土木工事

・杭打ち工事

一般栈橋及び燃料栈橋の工事において、杭打船による打撃工法（油圧ハンマ）により鋼管杭を打設する際に水中音が発生します。

・捨石投入工事

防波堤及び仮設栈橋での基礎捨石工事において、ガット船や旋回式起重機船から捨石を投入する際に水中音が発生します。

・浚渫工事

¹ 2乗値の平均の平方根（root mean square）で、実効値またはRMS値という。

(エ) 水中音の予測モデル

水中音の予測に用いるモデルは、水中音の距離減衰及び港湾施設等の構造物による遮音効果等を考慮し、次式で表されます。

$$SPL_R = SPL_1 + a \cdot \log_{10}(R) - \Delta Ld$$

ここに、

SPL_R : ある距離(R(m))における音圧レベル [dB]

SPL_1 : 発生源から 1m の距離における音圧レベル [dB]

a : 距離減衰係数 (実測データから求めた回帰係数 : -23.2)

R : 音圧レベルを測定した時の発生源と受音点との距離 [m]

ΔLd : 構造物等による回折減衰値 [dB]

距離減衰係数 a は水中音の減衰調査 (海上ボーリング時) の結果より設定しました。

減衰調査時の海上ボーリング地点の水深を考慮すると、観測位置 1 地点 (音源からの距離 45m) では、1/3 オクターブバンド周波数別で 1600Hz 以上の音圧レベルは近距離音場の影響を受けていると考えられます。また、海上ボーリング調査による変動は 500Hz 以上で見られたことから、500Hz から 1250Hz までの音圧レベルの結果から距離減衰係数を推計しました。

距離減衰係数の推計結果は図 1 に示すとおりであり、500Hz から 1250Hz までの距離減衰係数を算術平均した -23.2 を予測に用いました。

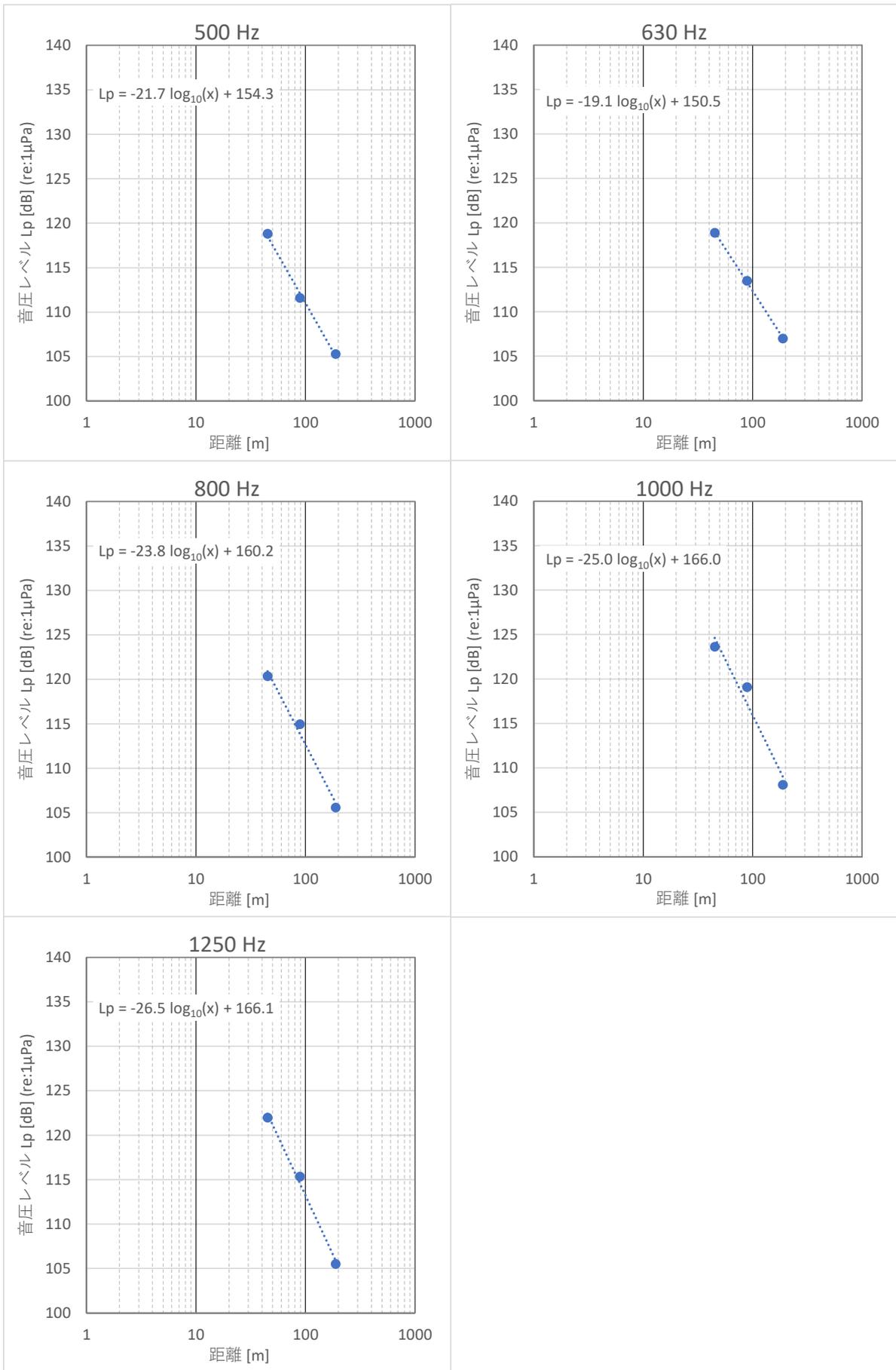


図 1 周波数別の距離減衰性

(オ) 予測条件

海中土木工事における水中音の予測条件を表 2 に、予測時期における音源位置及び建設済みの構造物位置を図 2 に示します。

表 2(1) 海中土木工事による水中音圧レベルの予測条件 (1 年次 1 ヶ月目)

施工場所	工種	船舶機械	1 年次 1 ヶ月目 (隻数)	発生源の 音圧レベル(dB)		
				ピーク	RMS	
南防波堤①	捨石投入	ガット船	6	194	194	
南防波堤②	捨石投入	ガット船	2	194	194	
北防波堤①	捨石投入	ガット船	4	194	194	
仮設栈橋 A	1-2 工区	捨石投入	旋回式起重機船	2	194	194
	2-1 工区	捨石投入	ガット船	1	194	194
	2-2 工区	捨石投入	ガット船	1	194	194
仮設栈橋 B	1-2 工区	捨石投入	旋回式起重機船	1	194	194
	2-1 工区	捨石投入	ガット船	1	194	194
	2-2 工区	捨石投入	ガット船	1	194	194
仮設栈橋 C	1-2 工区	捨石投入	旋回式起重機船	1	194	194
	2-1 工区	捨石投入	ガット船	1	194	194
	2-2 工区	捨石投入	ガット船	1	194	194

- 注) 1. 発生源の音圧レベル (RMS) は、既存文献資料 ((社)日本水産資源保護協会 1997) における杭打ち工事及び捨石投入工事等での実測データをもとに、音源から 1m の音圧レベルを推定しました。
 2. 杭打ち工事の発生源の音圧レベル (ピーク値) は、杭打ち音の音圧レベルのピーク値と RMS を同時に測定した事例を参考として、音圧レベル (RMS) に 20dB を加えた値としました。なお、捨石投入工事による水中音は非パルス音であるため、音圧レベル (ピーク値) は音圧レベル (RMS) と同じレベルとしました。

表 2(2) 海中土木工事による水中音圧レベルの予測条件 (2 年次 5 ヶ月目)

施工場所	工種	船舶機械	2 年次 5 ヶ月目 (隻数)	発生源の音圧レベル(dB)	
				ピーク	RMS
一般栈橋	鋼管杭打設	非航杭打船 (油圧ハマ)	2	224	204
燃料栈橋	鋼管杭打設	非航杭打船 (油圧ハマ)	1	224	204
東沖防波堤①	捨石投入	ガット船	2	194	194

- 注) 1. 発生源の音圧レベル (RMS) は、既存文献資料 ((社)日本水産資源保護協会 1997) における杭打ち工事及び捨石投入工事等での実測データをもとに、音源から 1m の音圧レベルを推定しました。
 2. 杭打ち工事の発生源の音圧レベル (ピーク値) は、杭打ち音の音圧レベルのピーク値と RMS を同時に測定した事例を参考として、音圧レベル (RMS) に 20dB を加えた値としました。なお、捨石投入工事による水中音は非パルス音であるため、音圧レベル (ピーク値) は音圧レベル (RMS) と同じレベルとしました。



凡例

● : 杭打ち

● : 捨石工

図 2(1) 音源位置 (1 年次 1 ヶ月目)



凡例
 ● : 杭打ち ● : 捨石工 ■ : 構造物 (建設済み)

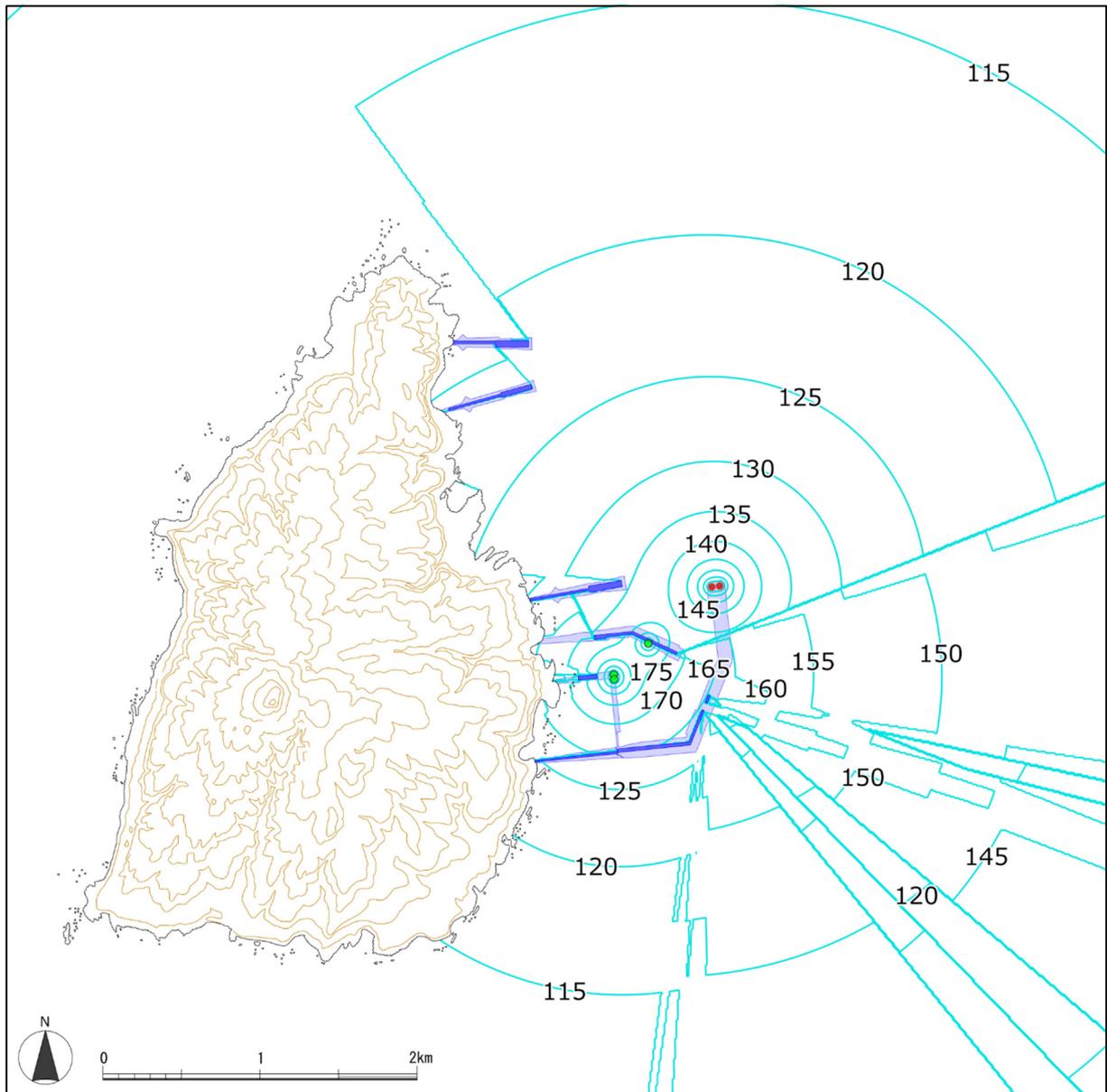
図 2(2) 音源位置 (2 年次 5 ヶ月目) と構造物位置

c) 予測結果

(ア) 音圧レベル（ピーク値）：瞬時の音による障害への影響

各予測時期において実施される海中土木工事による水中音を合成した音圧レベルのピーク値の予測結果のうち、高い音圧の箇所が予測された2次5ヶ月目の予測結果を図3に示します。

(社)日本水産資源保護協会(1997)によると、損傷が発生する音圧の目安は220dBとされています。2次5ヶ月目の水中音予測結果によると、このような音圧レベルの発生はないものと予測します。



注：220 dB (re:1μPa) を超過するエリアなし

単位：dB (re:1μPa)

凡例

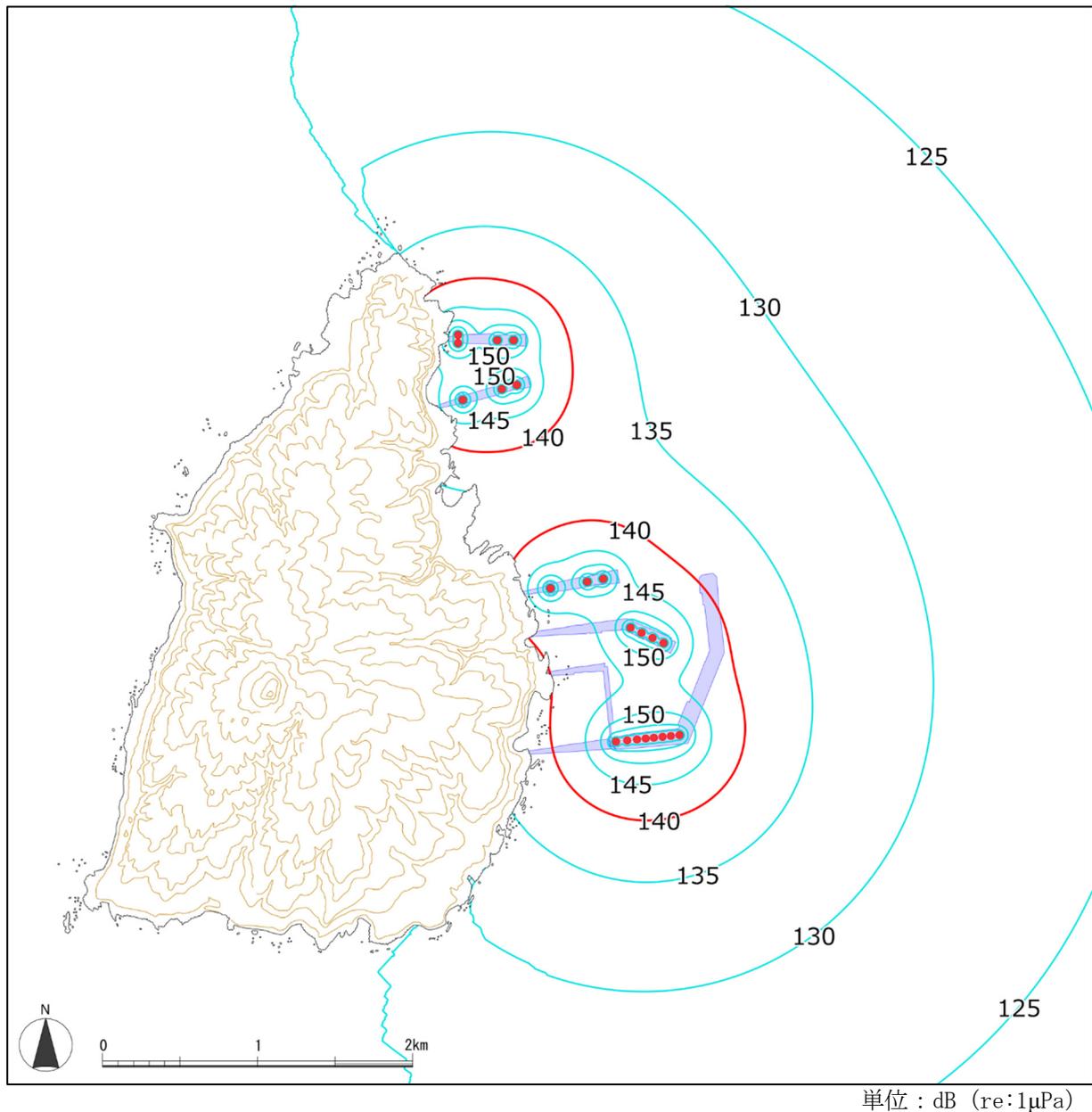
- ：杭打ち
- ：捨石工
- ：構造物（建設済み）

図3 海中工事による水中音予測結果（2年次5ヶ月目：音圧レベル（ピーク））

(イ) 音圧レベル (RMS値) : 瞬時の音による行動阻害への影響

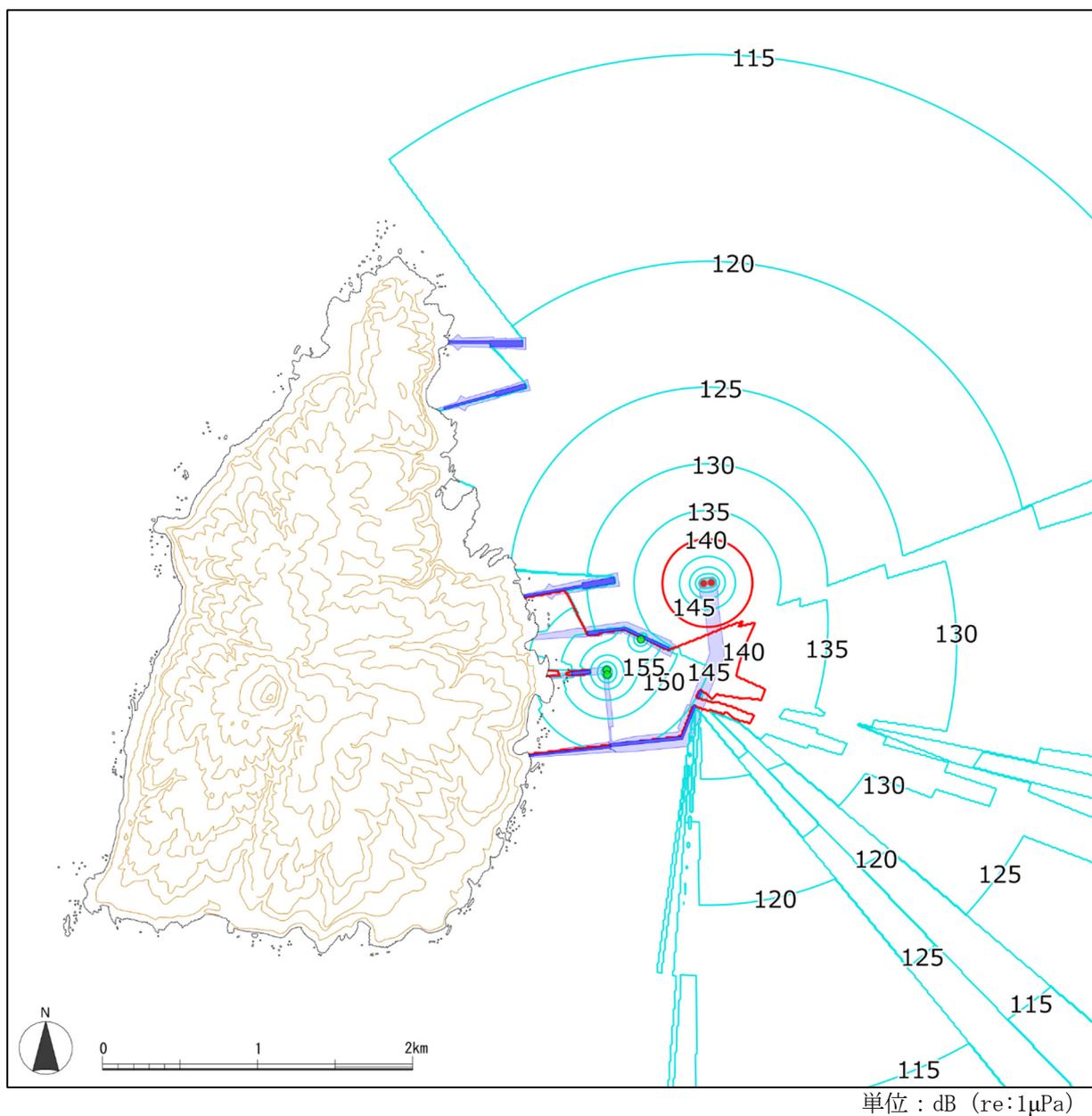
各予測時期において実施される海中土木工事による水中音を合成した音圧レベルのRMS (実効値) の予測結果を図4及び図5に示します。

魚類が水中音に驚き、発生源から遠ざかる行動を示す音圧レベルは、一般的には140~160dB であるといわれています ((社)日本水産資源保護協会、1997)。海中工事による水中騒音の音圧レベル (RMS) が140dB を超える範囲は、仮設栈橋及び港湾施設周辺の範囲に限られています。



凡例
● : 杭打ち ● : 捨石工 ■ : 構造物 (建設済み)

図4 海中工事による水中音予測結果 (1年次1ヶ月目 : 音圧レベル (RMS))



凡例
 ●：杭打ち ●：捨石工 ■：構造物（建設済み）

図 5 海中工事による水中音予測結果（2年次5ヶ月目：音圧レベル（RMS））

(2) 施設等の存在及び供用

1) 予測の結果

(a) 航空機騒音（水中音）

飛行場の施設の供用により、航空機から発生する騒音が水中に透過し、海域生物に及ぼす影響について予測しました。

a) 予測の概要

航空機騒音の発生源レベルは障害を発生させるような大きなレベルではないこと、及び音源が固定しない場合の累積の影響については予測困難であることから、瞬時の音による行動阻害の影響を検討しました。

このため、航空機からの騒音による水中音の影響を評価するにあたっては、工事中の行動阻害の評価基準を適用し、下記のように設定しました。

○航空機騒音による水中音の評価基準

音圧レベル (RMS) : 140dB (re:1 μ Pa)

b) 航空機の運航に伴う水中音圧レベルの予測手法

(ア) 騒音発生源

騒音基礎データによると、騒音の発生レベルはFA-18 が大きいものと考えられたため、航空機騒音が魚類等に及ぼす影響については、FA-18 を予測対象としました。

周波数特性を考慮して音源の音圧レベルを推定すると、離陸時 180dB、着陸時・巡航時 167dB 程度となります。

(イ) 予測項目

航空機騒音による行動阻害を評価するために、音圧レベル (RMS:実効値) を予測項目としました。

- ・音圧レベル (RMS (実効値)) : 瞬時の音による行動阻害を評価する項目

(ウ) 水中音の予測モデル

空中の点音源から水中への音波が透過する場合は球面波の透過となります。水中に透過してからの音波の距離減衰は、Medwin らの式を用いました。

予測モデルは、水面上 h の高さにある音源 (S) から、音波が放射され受音点 (Q) で受信する時、受音点の深さを d とすると (図 6 参照)、受音点の音圧 P_2 は次式で表されます。

$$P_2 = P_s - (L_1 + L_2 + L_3) + 26$$

$$L_1 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{h}{\cos \theta_1} \right)$$

$$L_2 = -20 \cdot \log_{10} \{D(\theta_1)\}$$

$$L_3 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{1 + \frac{d}{h} \cdot \frac{c_2 \cdot \cos \theta_1}{c_1 \cdot \cos \theta_2}}{2 \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2} \right)$$

ここに、

P_2 : 受音点の音圧レベル [dB]

P_s : 発生源の音圧レベル [dB]

L_1 : 球面拡散損失 [dB]

L_2 : 指向性損失 [dB] (ここでは $L_2 = 0$ とした)

L_3 : 水面透過損失 [dB]

26 : 水中音と空中音の基準換算値 [dB]

θ_1 : 入射角

$D(\theta_1)$: 発生源の音の指向性

h : 発生源の高さ [m]

d : 受音点の水深 [m]

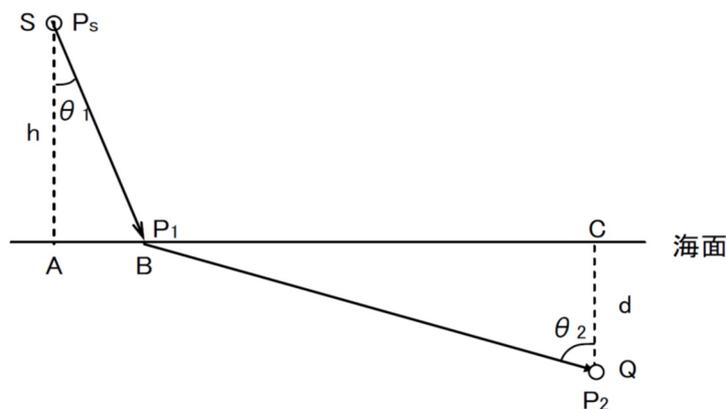


図 6 球面波の透過

c) 予測結果

予測対象としたFA-18が計器飛行方式巡航時（高度1200feet（約366m）、有視界飛行方式巡航時（高度600feet（約183m）の水平飛行時及び着陸時（海上における最低高度60m）を想定し、空中及び水中の音圧レベルを予測し、飛行経路直下の音圧レベル断面図を図7～図9に示しました。

空中から水中に音が入射する場合の臨海角度は約 13° と狭いため、水中に透過する音の範囲は、飛行経路直下の限られた範囲にとどまると考えられます。

予測結果によると、水中音の行動阻害の評価基準として設定した140dB（re:1 μ Pa）を超過する範囲は、約140m程度の範囲に限られます。

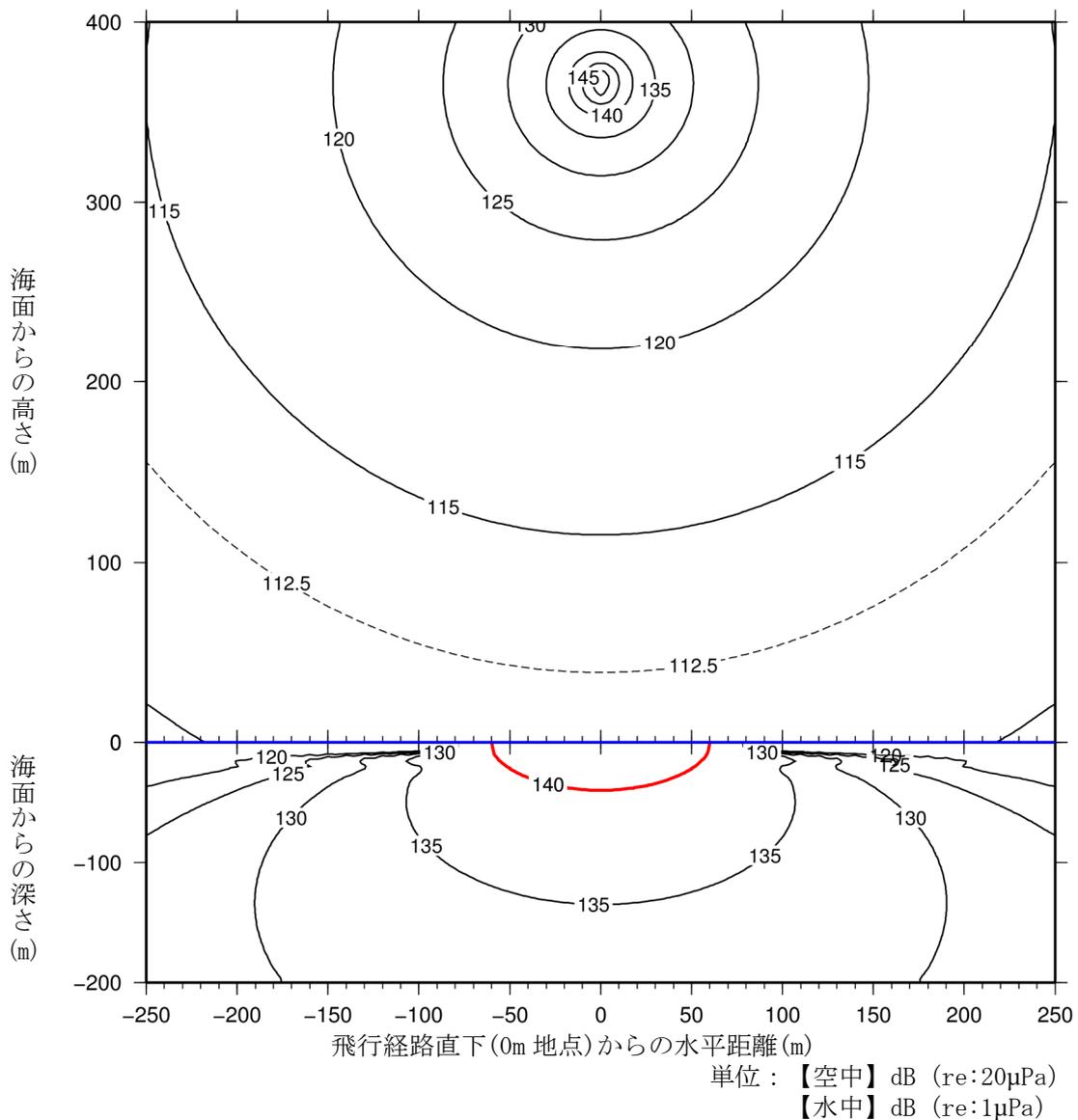


図7 FA-18による空中及び水中における音圧レベル分布
（計器飛行巡航時 飛行高度：1200feet（約366m））

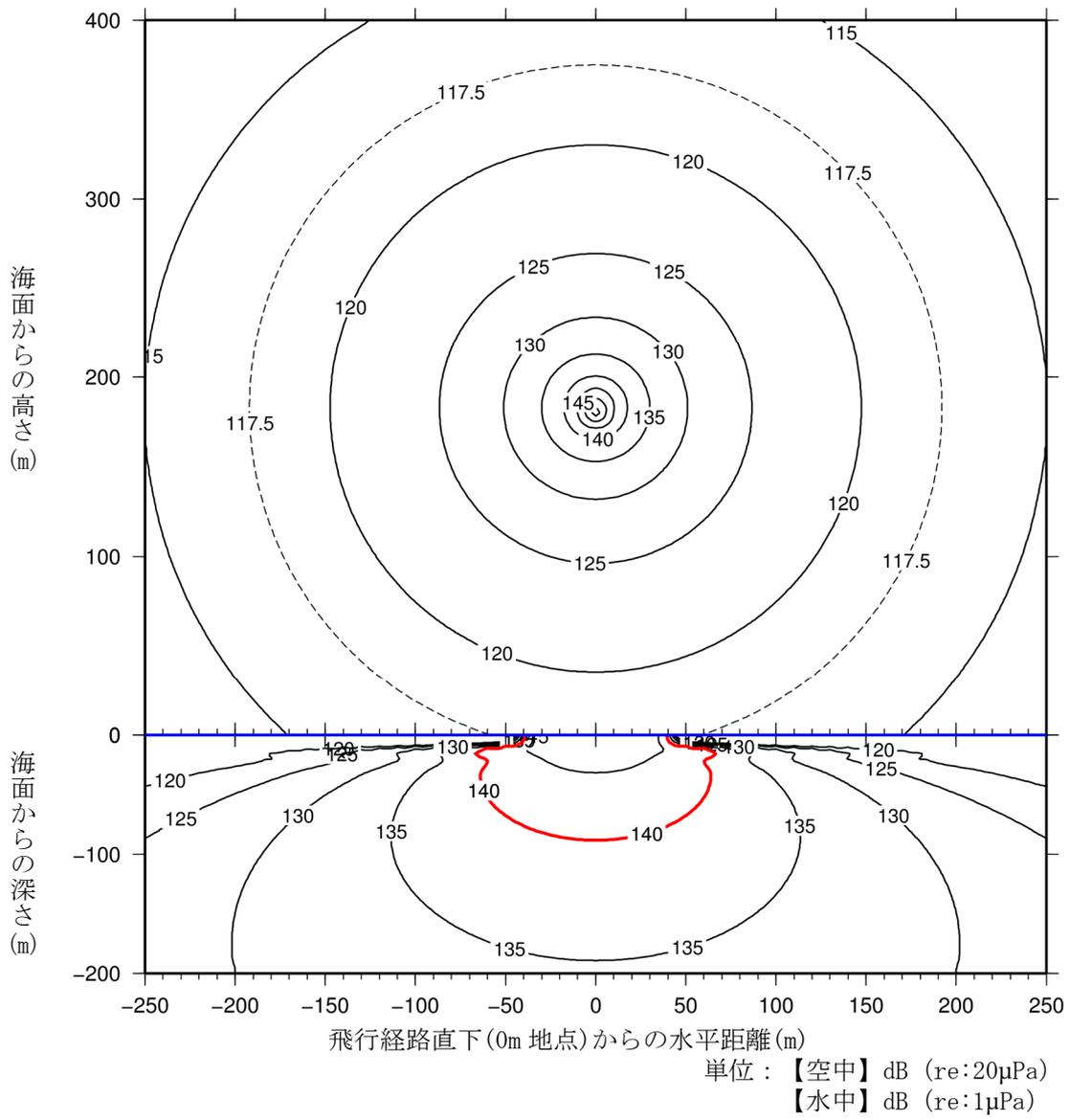


図 8 FA-18 による空中及び水中における音圧レベル分布
(有視界飛行巡航時 飛行高度：600feet (約 183m))

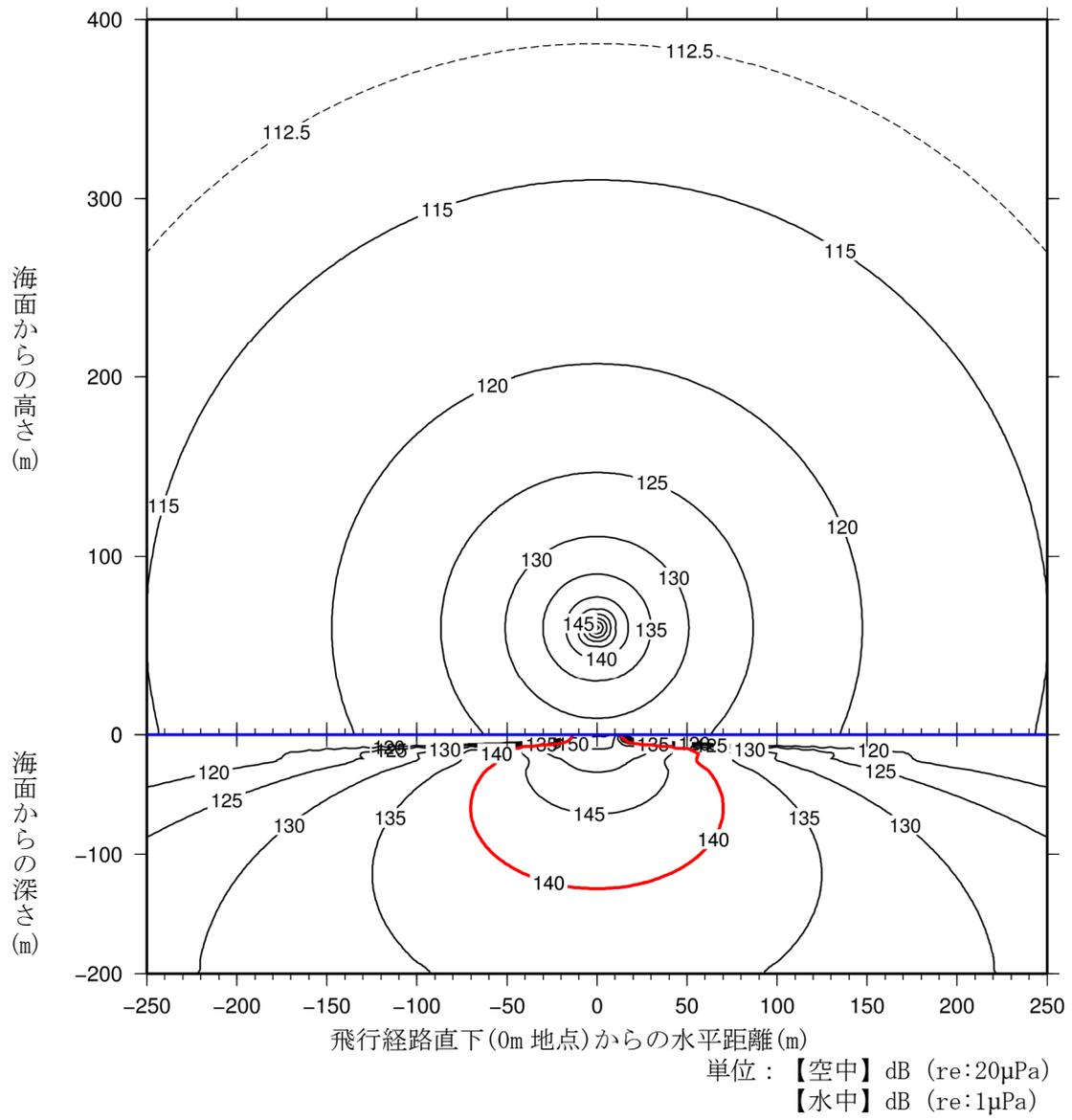


図 9 FA-18 による空中及び水中における音圧レベル分布
(着陸時 飛行高度：60m)

