九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

平面道路に面する地域における戸建住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法 ： 建物高さと受音点高さを考慮した予測式

冨永, 亨
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 ： 修士課程

森田, 建吾
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 ： 修士課程

藤本, 一壽
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

https://doi.org/10.15017/1485052

出版情報：都市・建築学研究. 25, pp.75-85, 2014-01-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第25号，2014年1月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.25, pp. 75～85, Jan. 2014

平面道路に面する地域における戸建住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法 ― 建物高さと受音点高さを考慮した予測式 ―

Prediction of insertion loss of detached houses against road traffic noise - Prediction formula considering the heights of buildings and receiving point

冨永　亨*，森田建吾*，藤本一壽**
Toru Tominaga, Kengo Morita and Kazutoshi Fujimoto

In the Environmental Quality Standards for Noise in Japan (EQS), the problem of environmental noise at areas facing roads is evaluated by obtaining the number and the rates of buildings at which noise levels exceed the standard value. The Standards allow for the estimation of noise levels, instead of requiring actual measurements, in cases where taking actual measurements would be difficult. In order to estimate noise levels, to grasp insertion loss of buildings in an evaluated area is needed. As the above background, the authors proposed in the previous study a method to predict insertion loss of detached houses against road traffic noise based on a point sound source model named as F2012 when the heights of houses and receiving point are 10m and 1.2m, respectively. This paper aims to expand it applicable to different heights of houses and receiving point to apply F2012 to the evaluation of EQS in residential areas.

Keywords : *Road traffic noise, Insertion loss, Model experiment*
道路交通騒音，挿入損失，模型実験

1. はじめに

環境省「騒音に係る環境基準」[1] では，道路に面する地域における騒音は一定地域ごとに基準値を超過する建物の戸数や割合によって評価 (面的評価) することになっており，またすべての建物について騒音レベルを測定することは困難であることから，騒音を推計することも認めるとされている．

騒音の推計には，建物群による騒音減衰量を求める必要があるため，筆者らはこれまで平面道路または盛土道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法 F2006 [2]，F2006+ [3] を提示してきた．これらは，日本音響学会道路交通騒音予測計算法 ASJ RTN-Model 2008 [4] [5] に採用されるとともに，環境省の自動車騒音常時監視 [6] にも活用されている．F2006，F2006+ は，直線道路を想定して線音源に対する騒音減衰量を予測するもので，直線でない道路には適用できない．一方，ASJ RTN-Model 2008 の騒音予測は，道路を走行する車両を点音源と想定し，点音源から騒音予測点までの騒音伝搬の計算を基本モデル (点音源モデル) としており，これにより道路が直線でない場合でも騒音予測が可能となっている．必ずしも直線ではない実際の道路に面する地域において道路交通騒音の面的評価を行うためには，“点音源モデルに基づく建物群による騒音減衰量の予測法” が必要である．そこで前報 [7] では，点音源モデルに基づく戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法 F2012 (式 (1)) を提案した．

F2012 は建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m に限定されているため，本論文では，F2012 を建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m 以外の高さにも適用できるように拡張する．これまでの研究 [2] [3] [7] と同様に，模型実験を行い，建物高さと受音点高さの変化に伴う道路交通騒音減衰量の変化

*　空間システム専攻 修士課程
**　都市・建築学部門

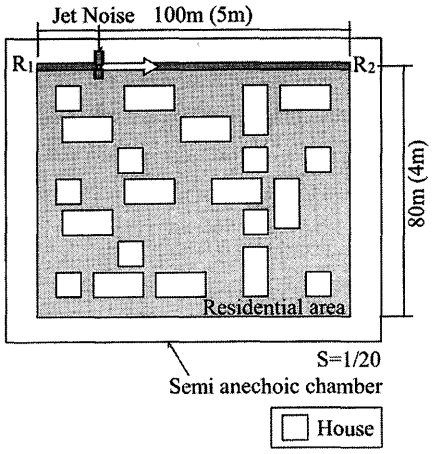

Fig. 1 模型実験の概要

を分析することにより予測式を導出し，その有効性を検証する．

$$\Delta L_{\mathrm{B},h_{\mathrm{p}}=1.2} = 10\log_{10}\left\{a_0 + a_1\cdot\frac{\phi}{\Phi} + a_2\sum_i\left(\frac{\theta_i}{\Phi}\cdot\frac{d_{\mathrm{road}}}{d_{\mathrm{ref},i}}\right) + a_3\cdot\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{0.251}{1+0.522\,\delta_k}\right) + a_4\cdot 10^{-0.0904\,\xi\cdot d_{\mathrm{road}}}\right\} \quad (1)$$

ただし，

h_{p}	:	受音点高さ [m]
ϕ	:	建物があるときの見通し角度 [rad]
Φ	:	建物がないときの見通し角度 [rad]
θ_i	:	鏡面受音点からの見通し角度 [rad]
d_{road}	:	受音点から道路までの距離 [m]
$d_{\mathrm{ref},i}$	:	鏡面受音点から道路までの距離 [m]
n	:	1次回折音を計算する離散音源の数 [-]
δ_k	:	1次回折の行路差 [m]
ξ	:	長方形内の建物密度 [-]

ここで，$a_0 = 0.0390$，$a_1 = 1.16$，$a_2 = 0.201$，$a_3 = 0.346$，$a_4 = 0.288$ である．

2. 模型実験

平面道路に面する地域における，戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量を求める模型実験を行った．実験方法は基本的に F2012 の導出に用いた実験と同じである．以下に概要を示す．

Table 1 実験条件

d	建物率 ω	配置パターン数	住宅
20m	16.8%	1	平面 8m×8m
30m	21.6%	1	8m×16m
40m	28.0%	1	高さ H=10, 7, 4 m
50m	34.4%	1	

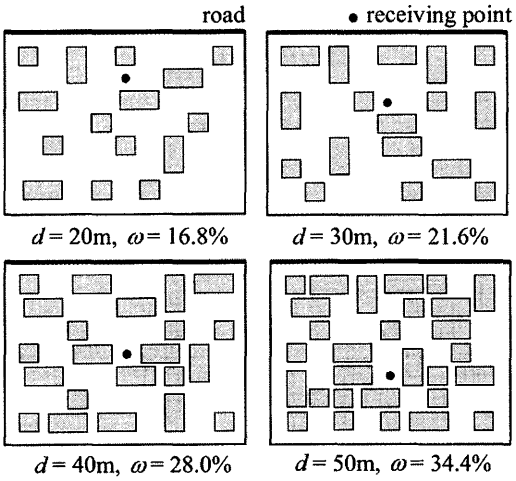

Fig. 2 住宅群の配置例

2.1 実験方法

Fig. 1 に示すように，簡易無響室内に地表面に相当する床を設置し，100m×80m の範囲に住宅模型を配置し，道路上の音源から道路交通騒音を想定した音を発生させ，受音点において伝搬してくる音の音圧レベルを測定し，道路交通騒音の住宅地伝搬に伴うレベル減衰量 (建物群による挿入損失) を求める模型実験を行った．模型の縮尺は 1/20 である．

住宅は，平面が 8 m×8 m と 8 m×16 m の 2 種類の直方体でモデル化し，このような住宅が住宅地全域にランダムに配置されていると想定した．住宅模型は，実験で使用する音の周波数においてほぼ完全反射とみなすことのできる発泡スチロールで製作した．建物密度 (道路などを含めた住宅地全域に対する住宅の建築面積の割合) ω は 16.8%，21.6%，28.0%，34.4%の 4 段階，道路から受音点までの距離 d_{road} は 20 m，30 m，40 m，50 m の 4 種類，平面的な配置パターンはこれらの組み合わせの合計 16 配置とした．実験条件を **Table 1**，住宅配置例を **Fig. 2** に示す．1 種類の平面配置について，建物高さ H を 10 m，7 m，4 m(それぞれの配置で建物高さ H は一つとし，一つの配置で異なる建物高さの住宅は混在しないとする) の 3 パターンに変化させ，受音点高さ h_{p} は，$H = 10$ m のとき 1.2 m，2.2 m，3.2 m，5.2 m，6.2 m，8.2 m，9.2 m の 7 点，$H = 7$ m のとき 1.2 m，2.2 m，3.2 m，5.2 m の 4 点，$H = 4$ m のとき 1.2 m，2.2 m，3.2 m の 3 点とした．すなわち 1 種類の

平面配置につき建物高さ，受音点高さの組み合わせは 14 パターンとなる．そして，平面配置，建物高さ，受音点高さの全組み合わせは 224 パターンとなる．

音源には，道路交通騒音の周波数特性をカバーでき，実験で使用する周波数の範囲でほぼ点音源とみなせるジェットノイズを使用した．これを，**Fig. 1** の R_1 から R_2 までの区間 (100m の直線道路) を約 42 s で定常走行させ，そのとき受音点で得られる音圧を，分解能 24bit，サンプリング周波数 200kHz で連続的に測定 (AD 変換) した．

2.2 騒音減衰量の算出

AD 変換されたマイクロホンの出力信号を時系列順に 16,384 個ごとに区切ってフーリエ変換し，それより 1/3 オクターブバンド音圧レベルを算出した．それに，ASJ RTN-Model 2008 に示されている自動車走行騒音の周波数特性 (密粒舗装道路，定常走行) と実験で用いたジェットノイズの周波数特性の相対的なレベル差を補正し，全周波数帯域の A 特性音圧レベル L_{pA} を求めた．

得られた L_{pA} のうち，音源から受音点に至る経路上の住宅立地に大きな偏りのないよう，音源区間 R_1R_2 の中央 60 m の範囲にある場合だけを分析対象とし，さらに実験誤差を小さくするため，車両が道路 10 m を走行したときの L_{pA} のエネルギ平均値 L_B を実験データの 1 サンプルとし，住宅を配置してない場合 $L_{B,0}$ と配置した場合 $L_{B,1}$ の差を戸建て住宅群による騒音減衰量 $\Delta L_B (= L_{B,1} - L_{B,0})$ とした．なお，ここで定義する "減衰量" は通常の定義と符号が逆となっている．ΔL_B は 1 つの住宅配置で 121 個となるので，実験全体では 1 つの建物高さ，受音点高さの組み合わせごとにそれぞれ 1,936 個の ΔL_B が得られた．

3. 実験結果と予測式の導出

各建物高さ，各受音点高さにおける ΔL_B を建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m の ΔL_B と比較した (**Fig. 3**). **Fig. 3** から建物高さが小さくなるほど，受音点高さが高くなるほど ΔL_B は小さくなる傾向にあることが分かる．これは建物上方からの回折音の影響と考えられる．そこで，上方からの回折音の影響を受音点と建物高さの差 $(H - h_p)$ によって捉える．各建物高さ，各受音点高さにおける ΔL_B と建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m の ΔL_B にはいずれにも直線的関係が認められるので，両者を単回帰分析した．得られた回帰直線の傾き p，切片 q と $H - h_p$ の関係を **Fig. 4** に示す．p，q ともに $H - h_p$ と直線的関係が認められるので，単回帰分析した．

以上から，建物高さと受音点高さを考慮した騒音減衰量 ΔL_B を式 (2) で表した．

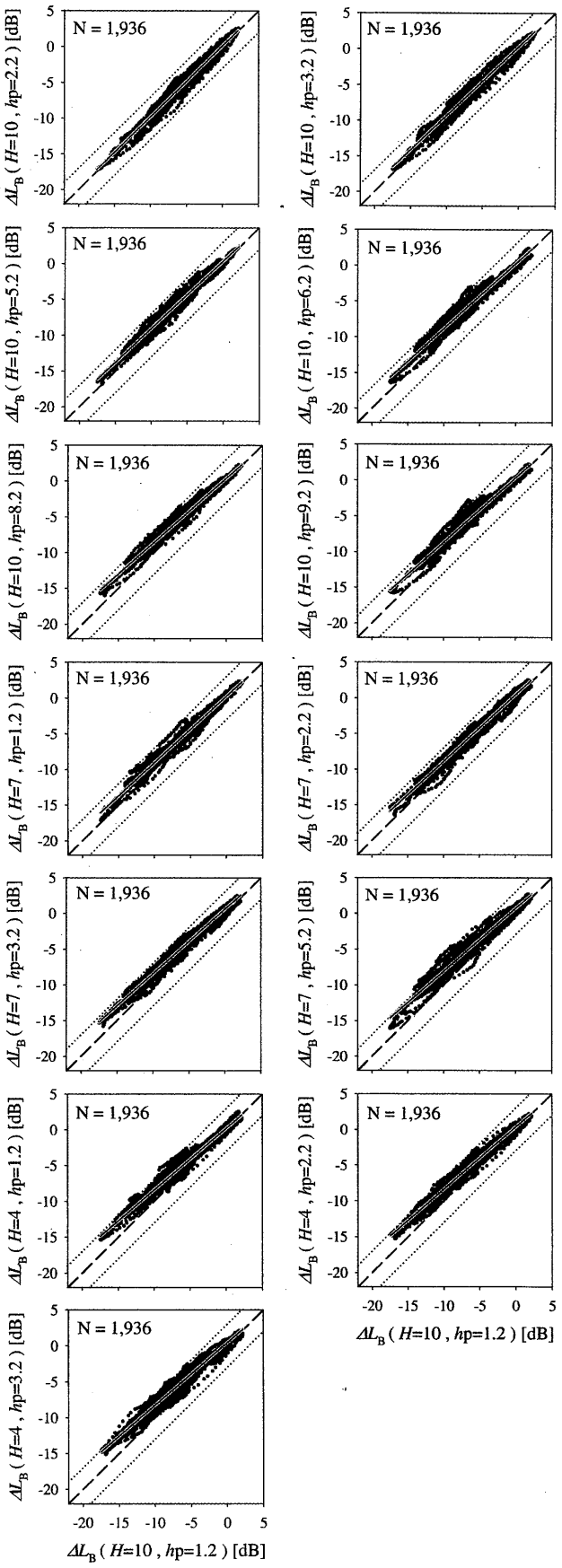

Fig. 3 建物高さ H と受音点高さ h_p による ΔL_B の変化

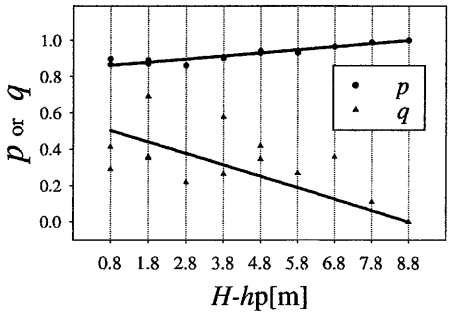

Fig. 4 p, q と $(H-h_{\mathrm{p}})$ の関係

$$\Delta L_{\mathrm{B}} = p \cdot \Delta L_{\mathrm{B},H=10,h_{\mathrm{p}}=1.2} + q \tag{2}$$

ただし，

ΔL_{B} ： 住宅群による騒音減衰量 [dB]

p ： $p = 0.017\{(H-h_{\mathrm{p}})-8.8\}+1.0$

q ： $q = -0.063\{(H-h_{\mathrm{p}})-8.8\}$

4. 予測計算式の精度

式 (2) で算出した値を実験値と比較した．**Fig. 5** に各建物高さ，各受音点高さにおけるユニットパターンの比較を示す．**Fig. 5** の横軸 X は音源の位置 (**Fig. 1** の R_1 が $X=0$) を表す．**Fig. 5** において，実線による波形は実験値のユニットパターン，点線による波形は予測値のユニットパターンを表す．式 (2) は，建物高さ，受音点高さに関わらず，建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m と同じように車両走行に伴う騒音減衰量の傾向をよく捉えている．**Fig. 6** に建物高さ，受音点高さごとの ΔL_{B} の比較を示す．建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m における F2012 による予測値と実験値を比較した場合，両者の差の 2 乗平均平方根は 1.8 dB，最大誤差は 6.1 dB であったが，各建物高さ，各受音点高さにおける予測値と実験値では，それぞれ 1.9 dB，6.6 dB となった．

全 16 配置について各建物高さ，各受音点高さごとの住宅群による騒音減衰量 $\Delta L_{\mathrm{bldgs}}$ を計算し実験値と比較したものを **Fig. 7** に示す．$\Delta L_{\mathrm{bldgs}}$ は，車両が道路を一端から他端まで走行したときの受音点における騒音レベルのユニットパターンを計算し，住宅群がある場合とない場合の差を計算したものである．建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m における予測値と実験値の差の 2 乗平均平方根は 0.6 dB，最大誤差が 0.9 dB であったが，各建物高さ，各受音点高さにおける予測値と実験値では，それぞれ 0.8 dB，1.8 dB となった．

以上のように，ΔL_{B} と $\Delta L_{\mathrm{bldgs}}$ のいずれにおいても，式 (2) は建物高さ $H=10$，受音点高さ $h_{\mathrm{p}}=1.2$ のときとほぼ同程度の精度で建物高さ，受音点高さの変化に対応していることが確認された．

Table 2 実験条件 (曲線道路)

d	建物率 ω	配置パターン数	住宅
20m	16.6%	1	平面 8m×8m
40m	21.5%	1	8m×16m
30m	28.3%	1	
50m	34.2%	1	高さ H=10, 7, 4 m

5. F2006 との比較

直線道路の場合，$\Delta L_{\mathrm{bldgs}}$ は F2006 [2] (線音源モデル) を用いても予測計算できる．そこで，実験結果を式 (2) による予測値と F2006 による予測値と比較した．**Fig. 8** に示す (ここでは 14 パターンの建物高さ，受音点高さの組み合わせの内，9 パターンについて図示する)．

式 (2) の方が F2006 より予測精度が高い (実験結果に近い) ものは，平面配置，建物高さ，受音点高さの組み合わせ 224 パターンの内，115 パターン (52%) であった．建物高さ $H=10$，受音点高さ $h_{\mathrm{p}}=1.2$ における実験値と予測値の差の 2 乗平均平方根は，式 (2) で 0.6 dB，F2006 で 0.7 dB であり，また各建物高さ，各受音点高さにおける予測値と実験値の差の 2 乗平均平方根の最大値は，式 (2) で 0.8，F2006 で 1.2 であった．このように，式 (2) は，直線道路において建物高さ, 受音点高さが変化しても，F2006 とほぼ同程度の精度で道路交通騒音減衰量を捉えている．

6. 予測式の有効性の検証 (曲線道路模型実験)

提案した予測計算式が曲線道路においても有効であるかを調べるために，曲線道路実験を行った．

6.1 実験条件

曲線道路の曲率半径は，現実の道路を参考に 100 m とした．実験条件を **Table 2** に示す．道路から受音点までの距離 d_{road} は 20 m，30 m，40 m，50 m の 4 種類，d_{road} が 20，40 m のとき建物密度 ω を 21.5 %，34.2 %の 2 種類，d_{road} が 30，50 m のとき建物密度 ω を 16.6 %，28.3 %の 2 種類とし，これらの組み合わせ合計 8 種類の平面配置で実験を行った．受音点高さは，建物高さ 10 m のとき 1.2 m，4.0 m，7.0 m，建物高さ 7 m のとき 1.2 m，3.0 m，5.0 m，建物高さ 4 m のとき 1.2 m，3.0 m とした．その他の実験条件は **2.** と同様である．配置例を **Fig. 9** に示す．ΔL_{B} は，各受音点高さ各建物高さで，1 配置につき 141 個得られた．

6.2 予測値と実験値の比較

得られた実験値を式 (2) で求めた値と比較した．**Fig. 10** にユニットパターンの一例を示す．曲線道路においても，式 (2) は建物高さ，受音点高さに関わらず，建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m と同じように車両走行に伴う騒音減衰量の傾向をよく捉えている．

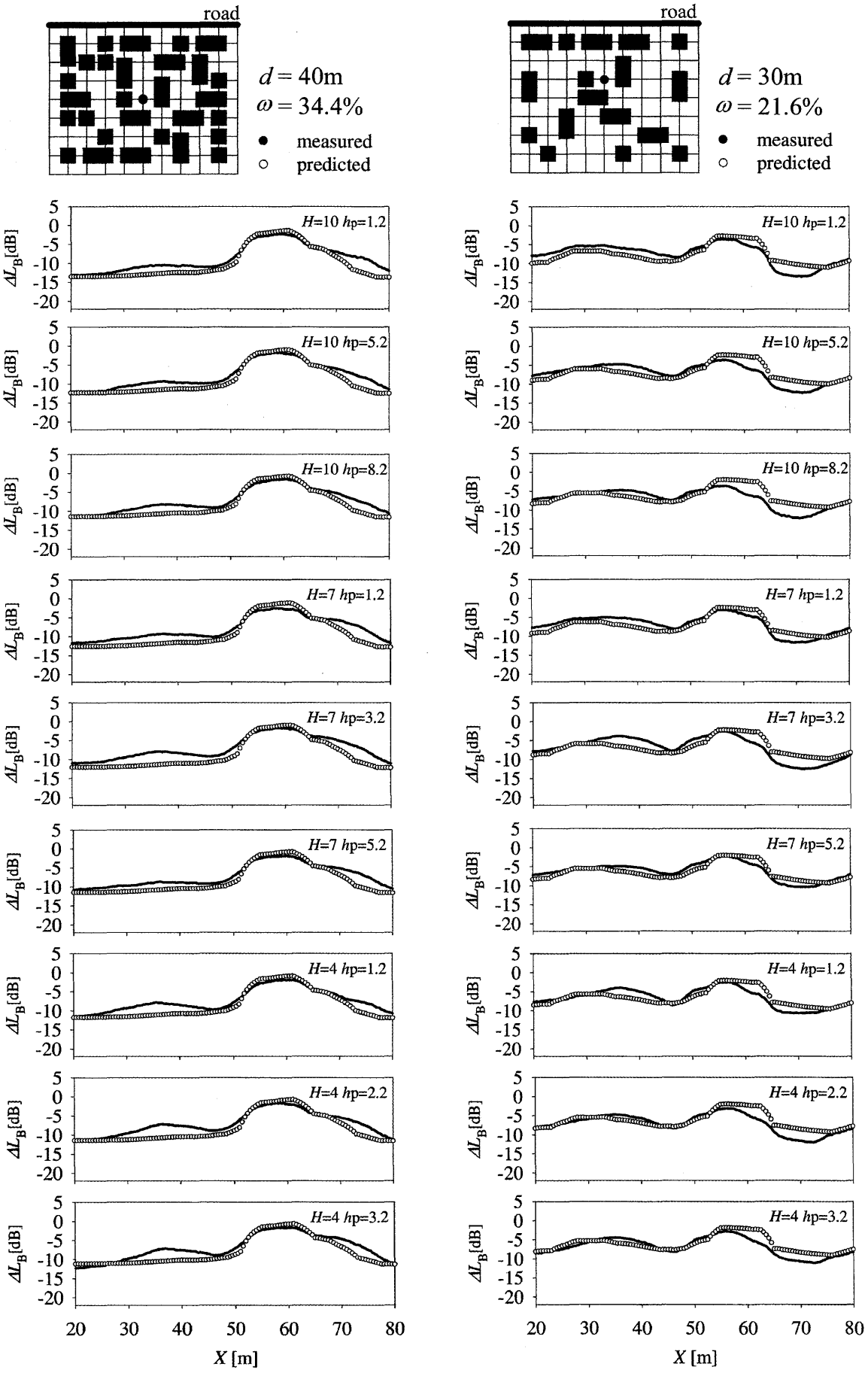

Fig. 5 ユニットパターンの例

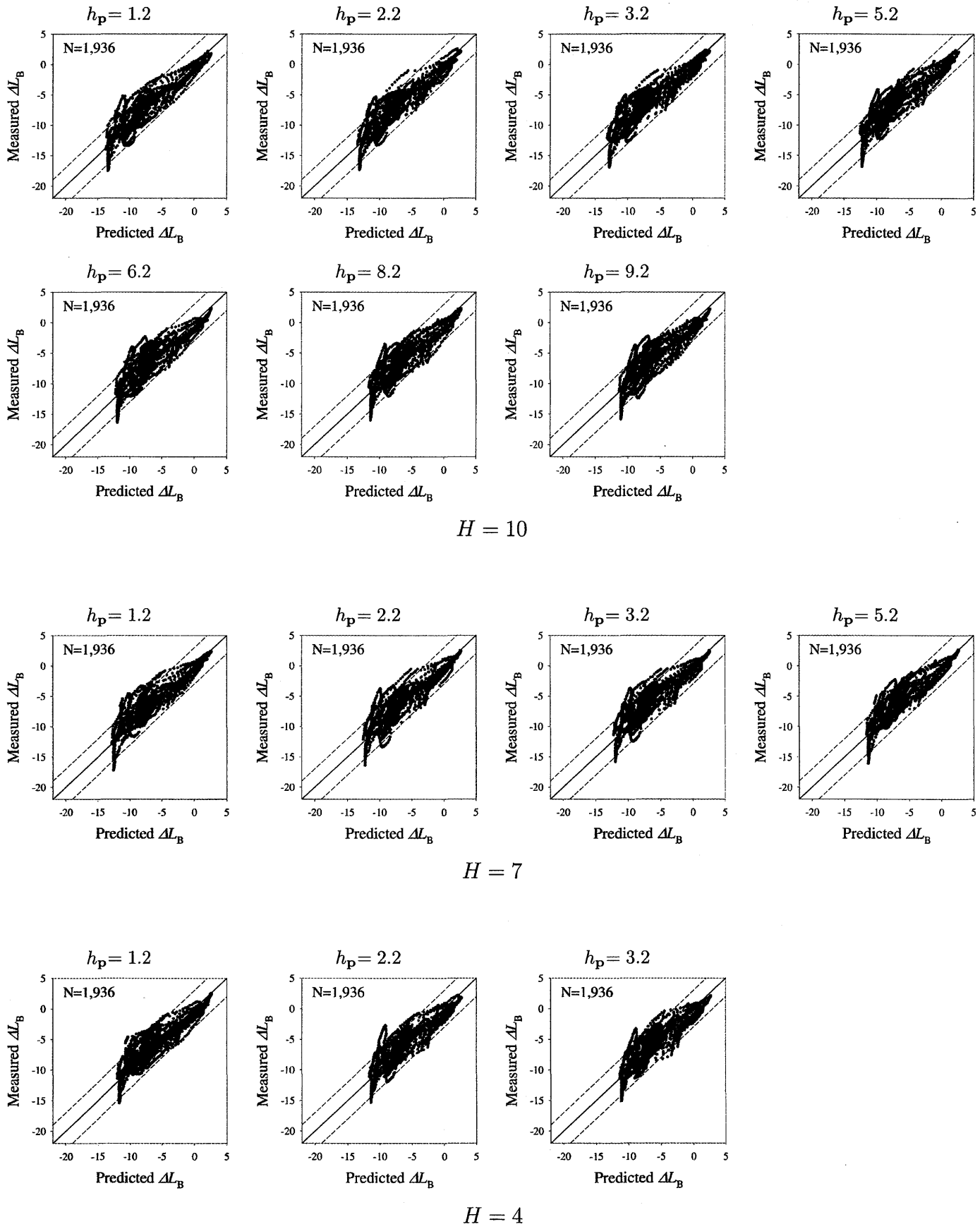

Fig. 6 予測値と実験値の対応 (ΔL_B)

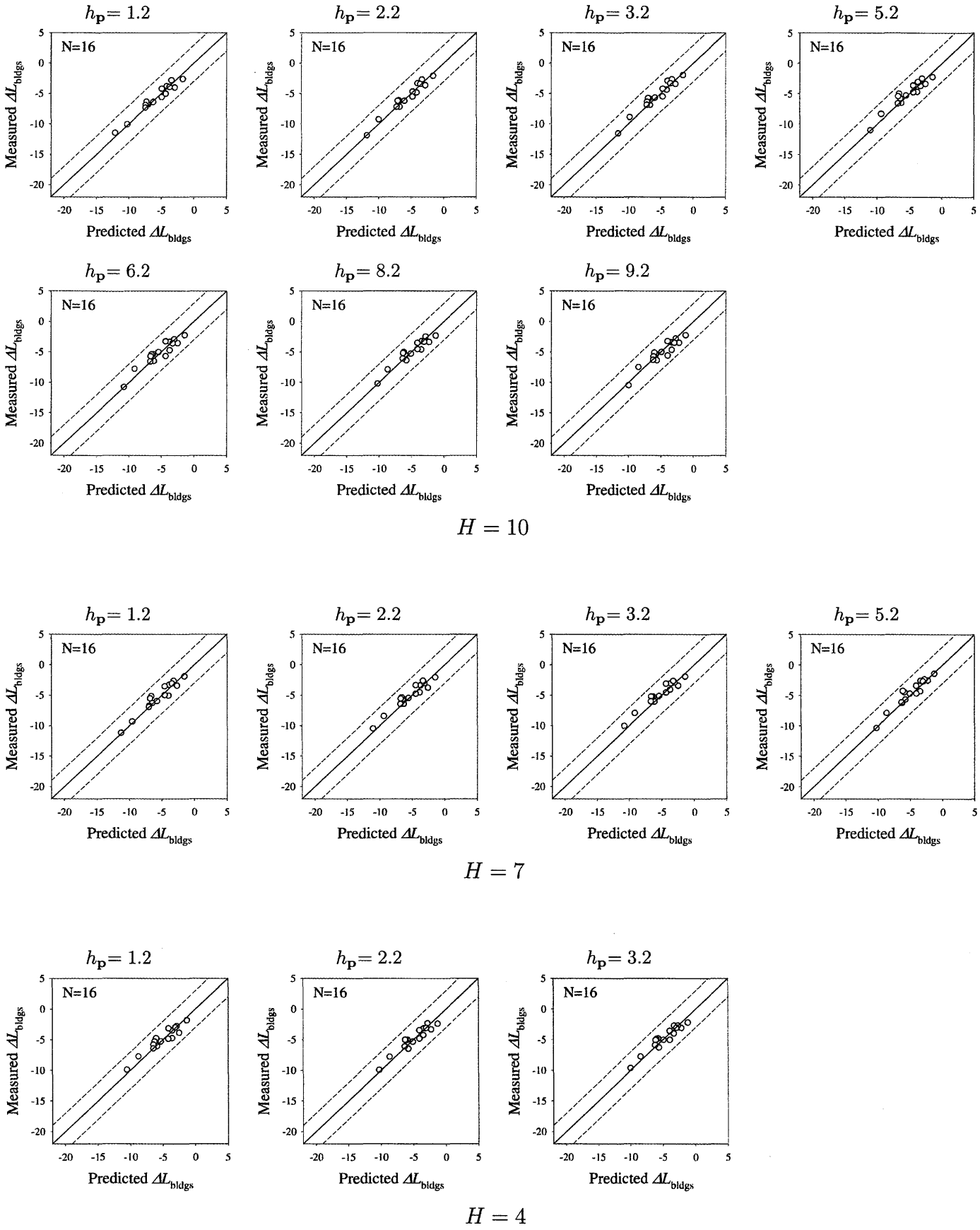

Fig. 7 予測値と実験値の対応 ($\Delta L_{\mathbf{bldgs}}$)

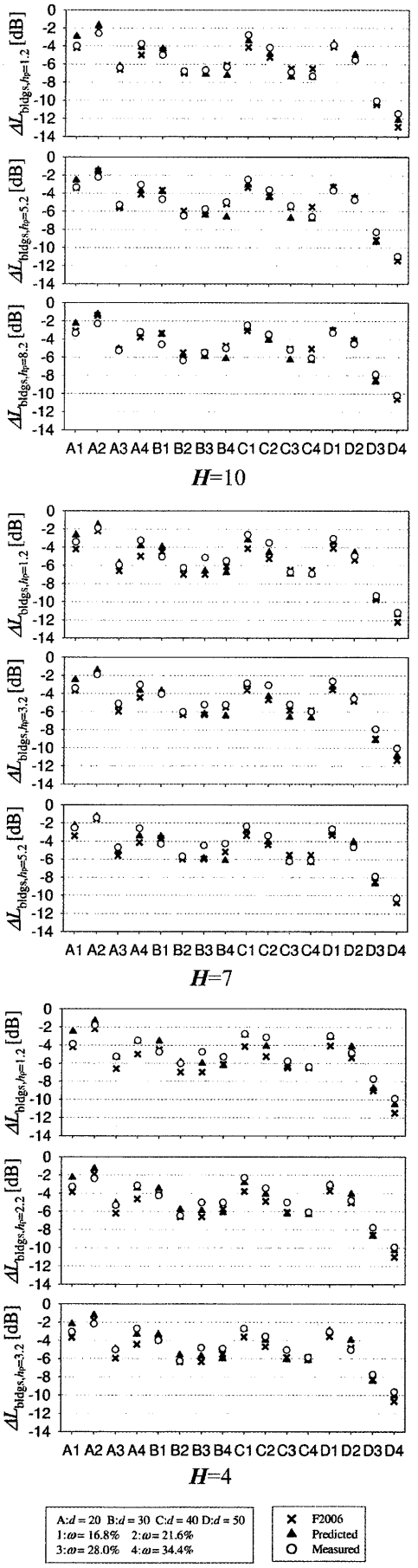

Fig. 8 F2006 との比較 (直線道路)

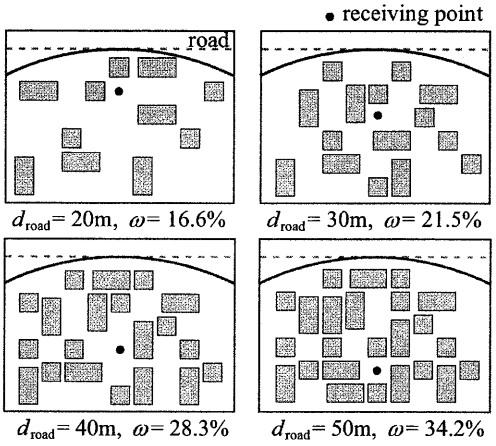

Fig. 9 住宅群の配置例 (曲線道路)

全ての ΔL_B について，予測値を実験値と比較した (**Fig. 11**)．建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m のときの実験値と予測値の差の 2 乗平均平方根は 1.4 dB，最大誤差は 4.0 dB であったが，式 (2) による予測値と実験値の比較では，それぞれ 1.6 dB，4.0 dB と同程度であった．また，ΔL_{bldgs} の予測値を実験値と比較した (**Fig. 11**)．ΔL_{bldgs} において，建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m のときの実験値と予測値の差の 2 乗平均平方根は 0.9 dB，最大誤差は 1.3 dB であったが，式 (2) による予測値と実験値の比較では，それぞれ 1.0 dB，1.4 dB と同程度であった．

このように，本論文で提案した予測式は，曲線道路において，建物高さ 10 m，受音点高さ 1.2 m における予測精度を保ったまま，異なる建物高さ，異なる受音点高さの道路交通騒音減衰量を予測できているといえる．

曲線道路の騒音減衰量の計算を，式 (2)(点音源モデル) によって曲線道路を正確にモデル化して求めた場合と，曲線道路を近似的に直線道路とみなし F2006(線音源モデル) によって求めた場合にどのような違いがあるか，8 配置について比較した (**Fig. 12**)．ここで，F2006 による騒音減衰量の計算では，曲線道路を **Fig. 9** の点線で示す直線道路とみなした．式 (2) の方が F2006 より予測精度が高い (実験結果に近い) ものは，平面配置，建物高さ，受音点高さの組み合わせ 64 パターンの内，46 パターン (72%) であった．また，建物高さ，受音点高さごと (各 8 パターン) に予測値と実験値の差の 2 乗平均平方根を比較したところ，最大値と最大誤差は，式 (2) ではそれぞれ 1.0 dB，1.4 dB であり，F2006 では 2.0 dB と 4.1 dB であった．すなわち，曲率半径 100 m の曲線道路の場合，直線道路と見なして計算すると平均誤差で 1 dB 程度，最大誤差は 3 dB 程度，精度が悪くなると推測される。

以上から，曲線道路に面する地域の道路交通騒音減衰量の予測は，式 (2)(点音源モデル) を用いる方がよいといえる．

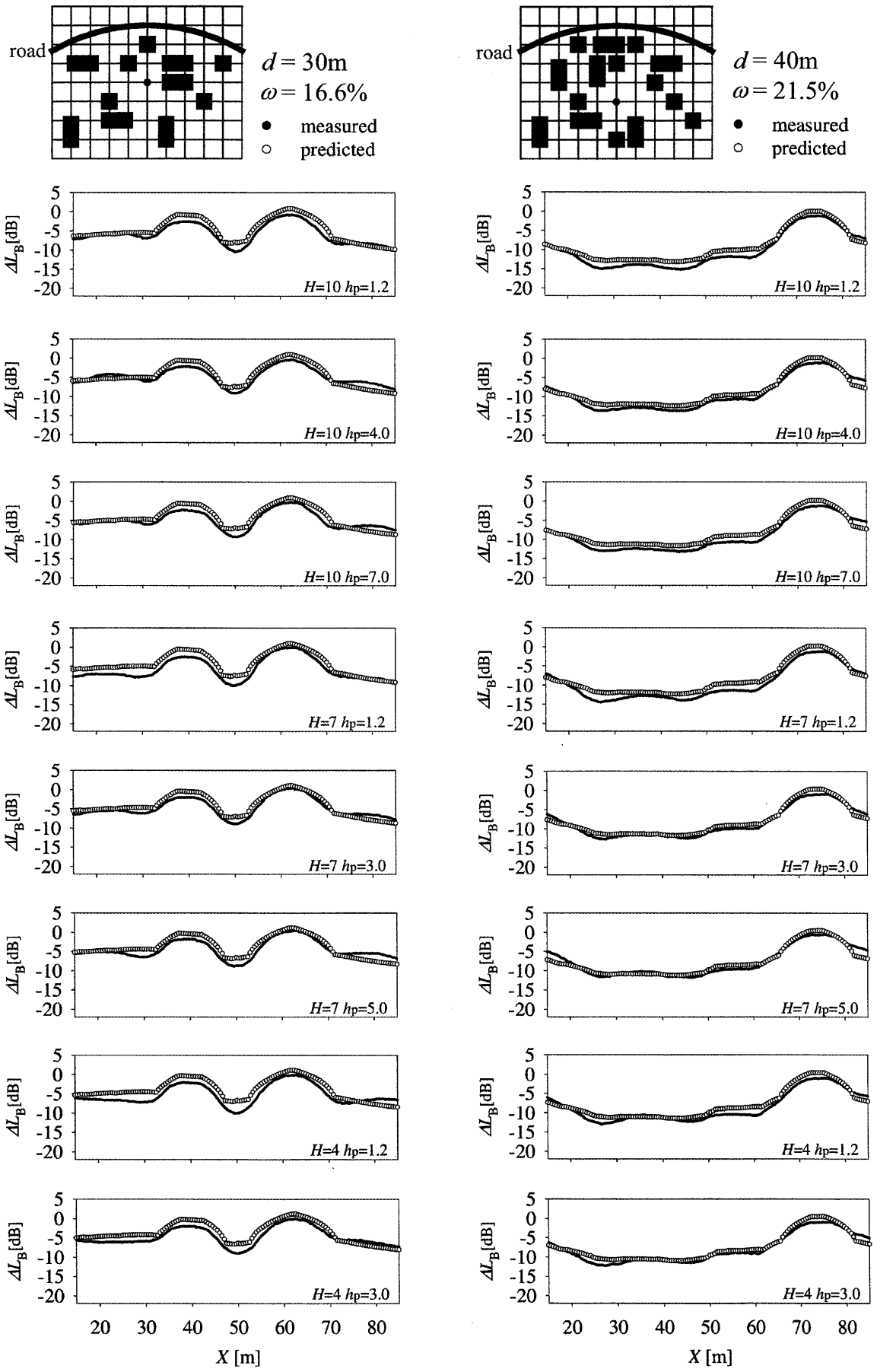

Fig. 10 ユニットパターンの例

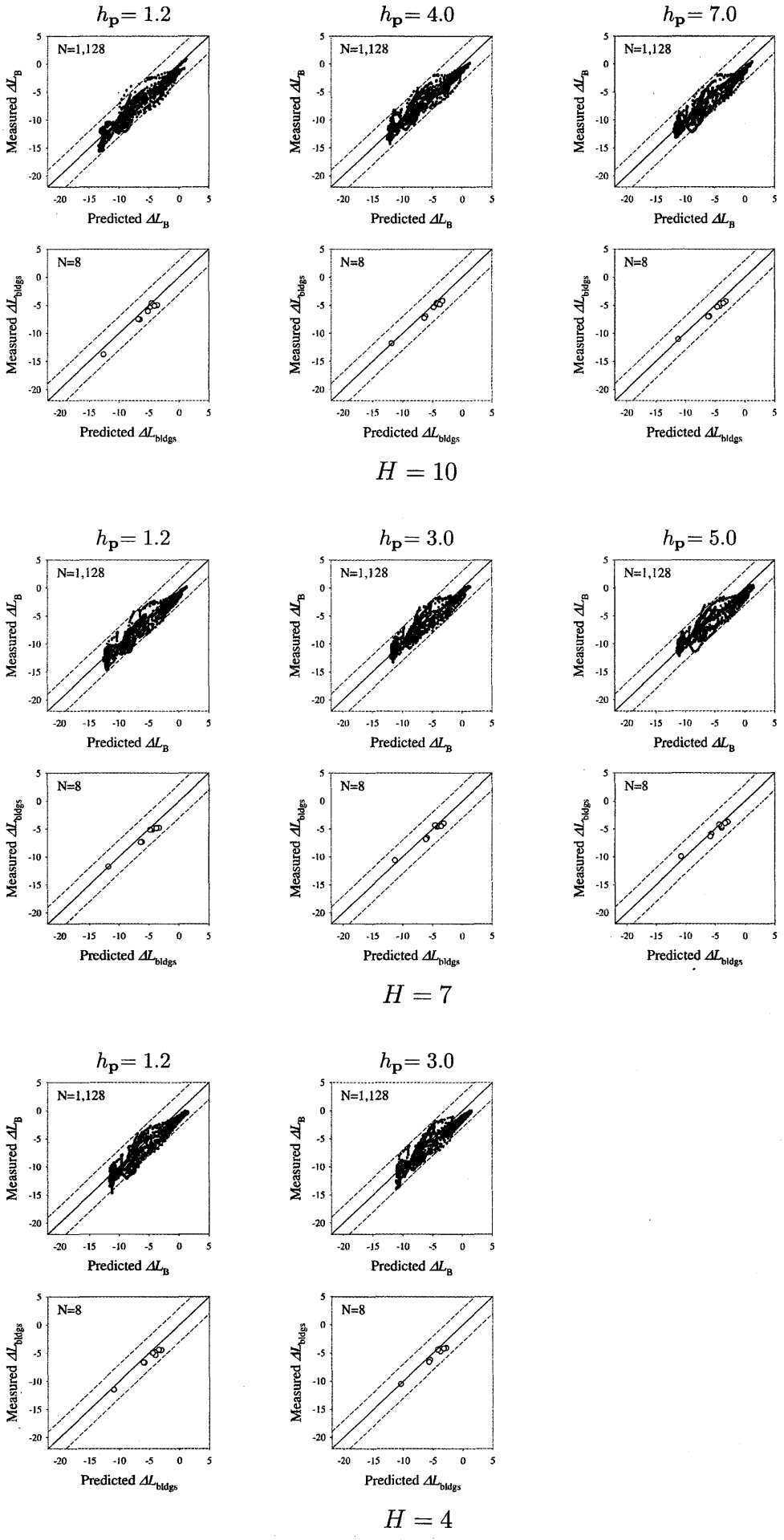

Fig. 11 予測値と実験値の対応 (ΔL_B, ΔL_{bldgs})

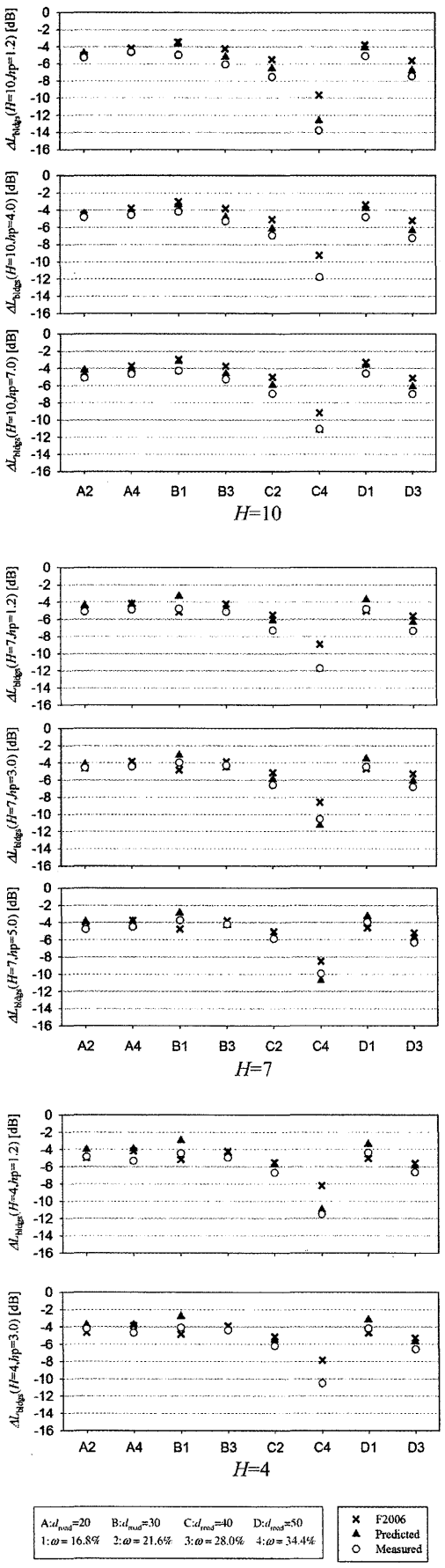

Fig. 12 曲線道路を直線道路とみなしたときの比較

7. まとめ

建物高さ $H=10\,\mathrm{m}$，受音点高さ $h_\mathrm{p}=1.2\,\mathrm{m}$ のみに限定された，戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測式 F2012 を，模型実験結果に基づいて，建物高さ 10 m 以下，受音点高さが建物高さ以下の場合に騒音減衰量も予測できるよう拡張した．さらに，検証実験と F2006 との比較によって，拡張した式は F2012 と同程度の精度で様々な建物高さ，受音点高さの騒音減衰量を予測できることを確認した．

謝　辞

本研究は，科研費 (No.24560715，研究代表者 藤本一壽) によるものである．また実験と分析には平田智子氏 (九州大学 4 年生) に協力頂いた．ここに記して感謝いたします．

参考文献

1) 環境庁告示 第 64 号: 騒音に係る環境基準について, (1998)

2) 藤本一壽, 山口晃治, 中西敏郎, 穴井謙: 平面道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法, 日本音響学会誌, 63, pp.309-317 (2007)

3) 山口晃治, 藤本一寿, 穴井謙, 平栗靖浩: 盛土道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法, 騒音制御, 33, pp.156-164 (2009)

4) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル ASJ RTN-Model 2008, 日本音響学会誌, 65, pp.179-232 (2009)

5) Kohei Yamamoto: Road traffic noise prediction model–ASJ RTN-Model 2008, Report of the Research Committee on Road Traffic Noise, Acoust. Sci. & Tech., 31, pp.2-48 (2010)

6) 環境省水・大気環境局自動車環境対策課: 自動車騒音常時監視マニュアル, (2011)

7) 藤本一寿, 辻京祐, 冨永亨: 平面道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法–点音源モデルの予測式–, 日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-2013-7, pp.1-9 (2013)

(受理：平成25年11月14日)