

(30) 打診による鋼管合成柱の鋼管とコンクリートの接触診断

日本大学 川口 昌宏 ・ 神奈川県庁 鈴木 英実 ・ 飛島建設 ○ 嶋津 外志彦

1. はじめに

鋼管の中にコンクリートを充填させた、いわゆる合成柱は小さな断面で大きな耐荷力とじん性を持つ構造とされており、今後、種々の構造物に用いられることと思われる¹⁾。建設省土木研究所により行なわれた合成柱への載荷実験によれば、単に平鋼管内へコンクリートを充填させた合成柱よりも、鋼管内にスタッド等を設した鋼管にコンクリートを充填させた合成柱の方が一体性は良好とされている²⁾。しかし、鋼管柱の内部にスタッドを溶植することは作業上困難な場合がある。これに替わる構造として表面に縞をつけた鋼板より製作した縞鋼管が提案されている。

筆者らは、スタッドと鋼板上の縞の効果を比較するために最も単純な軸圧縮合成柱について土木研究所で行なわれた実験と同様の規模の大型実験を行なった。その際コンクリートとの合成作用を理解するためにいわゆる打診を行い、荷重の増大とともに鋼管と内部のコンクリートがどのように付着もしくは接触しているのかを検討し、興味深い観察結果が得られたので報告する。

Table-1 Description of specimens

Series		FN	CN	CE	SN-1	SN-2
Number		2	2	2	2	2
Concrete	Normal	○	○		○	○
	Expansive			○		
Steel	Flat	○				
	Checkered		○	○		
Column	No. of stud connectors round a circumference	16			○	
		8				○

2. 供試体の概要

2.1 供試体の寸法および分類

本実験では5種類の供試体を各2本ずつ、合計10本の供試体について載荷を行った。供試体高さ2800mm、鋼管の外径700mm、鋼管厚9mmとし、平鋼管に普通コンクリートを充填した柱（以下FNと略）、縞鋼管に普通コンクリートを充填した柱（以下CNと略）、コンクリートの乾燥収縮によりコンクリートが鋼管から剝離するのを防ぐために縞鋼管に膨張コンクリートを充填した柱（以下CEと略）、鋼管の円周を16等分柱軸方向に140mm間隔にスタッドを配し、普通コンクリートを充填した柱（以下SN-1と略）、円周を8等分柱軸方向に同220mm間隔にスタッドを配し、普通コンクリートを充填した柱（以下SN-2と略）の5種類とした。これらをTable-1にまとめておく。また、Fig-1に供試体の略図を示した。

2.2 使用材料

合成鋼管内に打設したコンクリートは生コンクリートを使用し、材令189日の強度は普通コンクリートが44 Mpa、膨

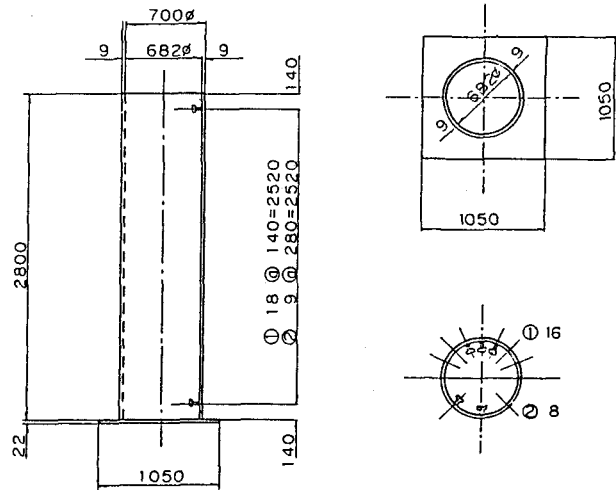


Fig-1 Dimension of specimens

張コンクリートが46 Mpaであった。鋼材の降伏応力は平鋼管は 402 Mpa、綫鋼管は 363 Mpaであった。綫鋼板突起部の形状をFig-2にそれぞれ示す。またスタッドはφ13mm、高さ80mmのものを使用した。

3. 荷重方法および計測方法

試験は日本大学理工学部大型構造物試験棟内に設置してある 3000ton大型構造物試験機を用いて行った。荷重支持条件は下端部は平板支持、上端部は南北方向に1300mm、東西方向に 974mmの曲率半径を持つローラーを使用した。各変位量の計測は200tonごとに行い、最大耐荷力以降は変位量約 2.5mmごとに行った。ただし実験の都合上、あらかじめ200tonまで荷重を行った。このときは100tonごとに各変位量を計測した。また、打診によりコンクリートと鋼管の剝離を診断する方法は加速度ピックアップをFig-3に示した位置にグリスで付着させ、中空金属パイプで鋼管表面上の打点をたたいた。解析方法はピックアップ（小野測機NP-501S、40kHz）によって加速度を検出し、アンプ（小野測機、PS-021）で増幅後、シグナルアナライザー（岩崎通信機社、SM-2100A）によって振動波形のオートパワースペクトラムを求め、卓越振動数の変化を調べた。

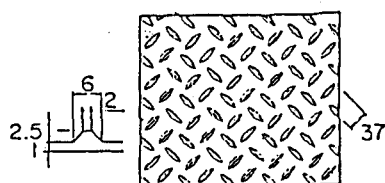


Fig-2 Shape of checkered surface

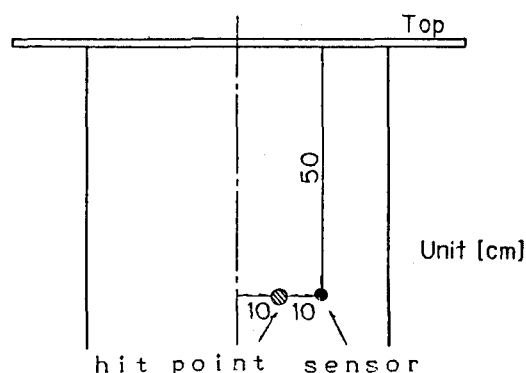


Fig-3 Schematic diagram of hit point and sensor

4. 測定結果および考察

4.1 荷重後の供試体の変形

Photo-1から3に荷重試験日に解体された合成柱の様子を示した。Photo-1は合成柱最上部に設けられたスタッドを円周方向に2本切出したもので、その変形と鋼管の座屈を示している。Photo-2にはFNにおける鋼管の座屈と内部コンクリートの様子を示した。鋼管表面のゼブラ（写真右側中央部）は鋼管の座屈位置を示している。このようにFNでは鋼管表面の座屈位置とコンクリートがクサビ形に破壊しその先端が一致していた。CEとCNではこのような現象は見られなかった。またスタッドのある合成柱の場合、全体の解体が不可能であったため内部コンクリートの様子は不明である。Photo-3に綫鋼管の綫とコンクリートの付着状況を示したもので、鋼管とコンクリートがよくかみあっていることがわかる。

4.2 最大耐荷力

鋼管の鋼材降伏点より算出した鋼管の最大耐荷力を S_y 、鋼管の鋼材降伏点より算出した局部座屈を考慮した鋼管の最大耐荷力を S_b とする。 S_b は鋼管の残留応力や初期変形を考慮してDonnell-Wanの式を用いて算出²⁾した。コンクリートの最大耐荷力の計算値はコンクリートのシリンダー試験結果により算出する。コンクリート充填鋼管の最大耐荷力の実験値、理論値をTable-2に示した。Table-2の計算値Ⅰは鋼管の局部座屈を考慮したDonnell-Wanの式を用いたものである³⁾。どちらの計算も、スタッドや綫によるコンクリートの鋼管の物理的な付着力については考慮していない。

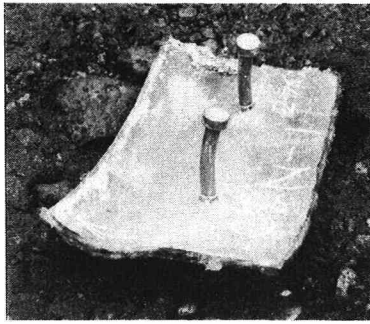


Photo-1
Deformed stud
connector

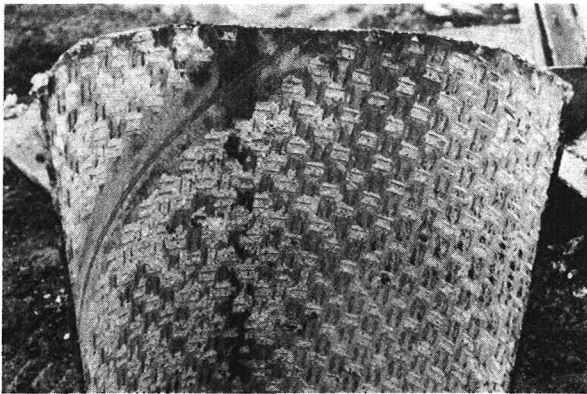


Photo-2
Buckled steel column and concrete

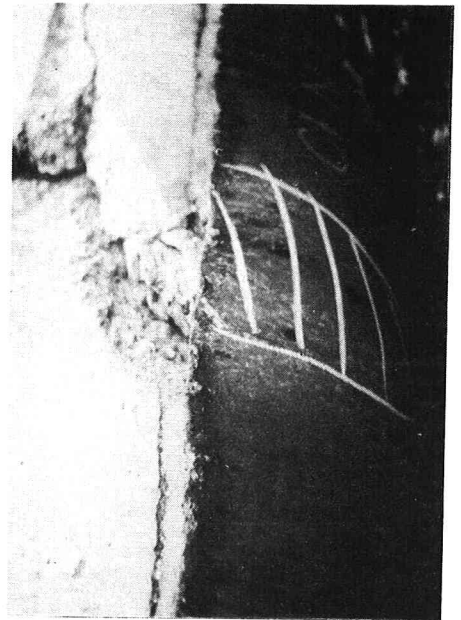


Photo-3
Attached
concrete to
cheackered
steel column

Table-2 Tested results and calculated values

Specimens	Test results (KN)	Average (KN)	$C_s f_c \times A_c$ (KN)	$S_y f_y \times A_s$ (KN)	$S_h f_y \times A_s$ (KN)	$I_{C_s + S_y}$ (KN)	$II_{C_s + S_h}$ (KN)	Test / I	Test / II
FN-a	22.47	21.58	10.15	7.80	7.58	24.01	23.73	0.94	0.95
FN-b	24.00		10.15	7.80	7.50	24.01	23.73	1.00	1.01
CH-a	24.00	23.83	10.15	7.09	6.85	23.24	23.00	1.04	1.05
CH-b	23.00		10.15	7.09	6.85	23.21	23.00	1.02	1.03
CE-a	24.50	24.92	10.01	7.09	6.85	23.70	23.40	1.03	1.04
CE-b	25.33		10.01	7.09	6.85	23.70	23.40	1.07	1.08
SH-1-a	25.13	24.80	10.15	7.80	7.58	24.01	23.73	1.05	1.00
SH-1-b	21.02		10.15	7.80	7.58	24.01	23.73	1.03	1.04
SH-2-a	24.20	24.13	10.15	7.80	7.59	24.01	23.73	1.01	1.02
SH-2-b	24.00		10.15	7.80	7.50	24.01	23.73	1.00	1.01

4. 3 柱軸方向の変形

Fig-4に荷重と変位の関係を示した。変位は各供試体の4つの柱軸方向変位計による全縮み量を平均したものである。荷重たわみ曲線の立ち上りを柱の剛性とするならば、縞鋼管を用いた合成柱は中間的な値を示している。さらに鋼管が降伏したあとの各合成柱の挙動を比較すれば、平鋼管を用いた合成柱は大きな耐力低下を示している。ところが縞鋼管を用いたものは明瞭な極値をもたず、最大耐荷点で荷重はほぼ横這いとなっている。またスタッドを用いた合成柱では最大耐荷点を示した後、縞鋼管を用いたものに比べて荷重は低下の傾向を示している。これらは合成柱の急激な耐力低下を防ぐには、スタッドや縞のような物理的

にコンクリートと鋼管をかみ合わせる機構が必要なことを示している。また物理的かみ合わせを持つ機構でも、スタッドを用いた合成柱ではスタッドとコンクリートの接点で応力集中が生じ、局部的にコンクリートが破壊されたために荷重が下がったのではないかと考えられる。

4. 4 軸方向および円周方向ひずみ

コンクリート充填鋼管は、鋼管とコンクリートのポアソン比の差により、弾性域ではコンクリートと鋼管が互いに離れようとする挙動を示す。コンクリート充填鋼管において、内部のコンクリートの付着力が作用した場合、弾性域において見かけのポアソン比は、鋼材のポアソン比 0.3に比べて4割低下することになる。実際に観察された鋼管柱の中央におけるフープ方向の荷重ひずみ曲線をFig-5に示す。図中の点線は実際に観察された軸方向の荷重ひずみ曲線の弾性挙動部の傾きを最小二乗法により求め、その傾きに見かけのポアソン比 0.184を乗じてプロットしたものである。

これらの図からFNとSNは荷重がかなり小さくても $\nu = 0.3$ の実線に近く、鋼管とコンクリートがそれぞれ独立に挙動していることがうかがえる。またCEにおいてはある程度の荷重まで $\nu = 0.184$ に近く、縞鋼管と膨張コンクリートにより、鋼管とコンクリートが一体となって挙動していると考えられる。

5. 打診による鋼管と

コンクリート間の剝離診断

Fig-6、Fig-7にSNにおける振動加速度波形のオートパワースペクトラムを示した。ここで、各荷重における波形は大きく2つに大別される。第一の波形は荷重レベルが比較的低い段階で生じている卓越周波数2～5 kHz程度でかつ周波数の分布も比較的狭い波形である。第二の波形は卓越周波数が20kHz付近と前者に比較してかなり高い位置にあり、さらに周波数は3kHzから40kHz程度までと広範囲にわたっているものである。

合成柱は、低い荷重段階では鋼管のポアソン比はコンクリートのそれより大きいため、鋼管はコンクリートから離れようとする。このときにコンクリートと鋼管の付着強度が十分でなければ両者は離れてしまう。しかし荷重レベルが大きくなるにつれてコンクリートのポアソン比が増大するために、荷重が低い場合とは逆にコンクリートが鋼管を中側から押すことになる。

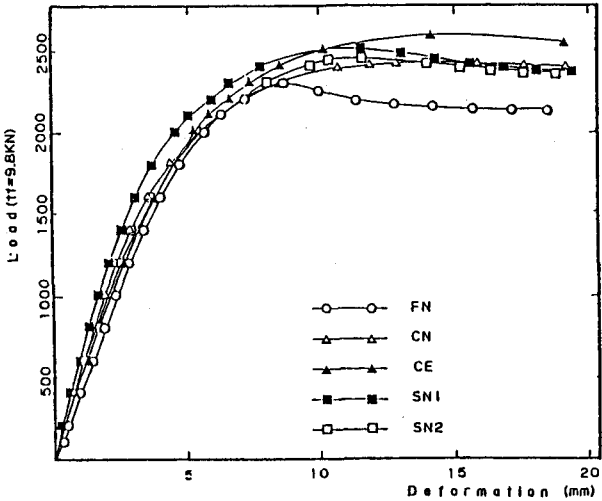


Fig-4 Compressive load and axial deformation

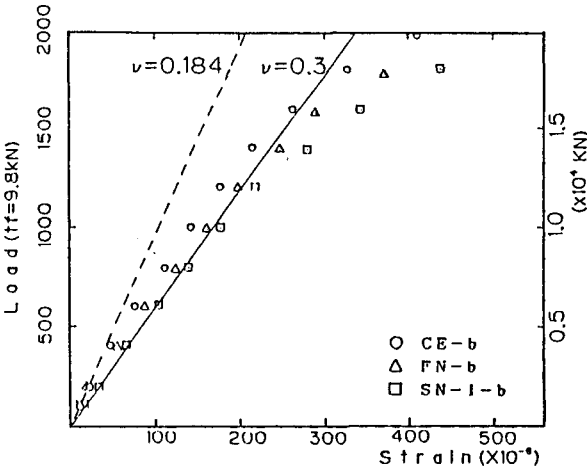


Fig-5 Load and hoop strain

コンクリートと鋼管が離れているときに生ずる振動波形は、卓越周波数が低く周波数分布の狭い波形になると推定される。その理由は次の2つである。

1) 鋼管がコンクリートから剝離している状態では、薄い鋼管のみが振動するために狭い範囲の周波数が観測されると推測される。

2) 鋼管が剝離していると考えられる荷重段階でこの波形が観測されている。

また鋼管とコンクリートが付着しているときに生ずる振動波形は卓越周波数が高く、周波数の拡がりの大きい波形と推定した。

それは以下の理由による。

1) 鋼管とコンクリートが付着していれば、両者が一体となって振動するために加振点が三次元弾性体として振動して複雑な振動となり広範囲の周波数が観測されると思われる。

2) 载荷後に行った供試体の解体により、鋼管とコンクリートの付着が確認され (Photo-3)、その柱の最終段階での振動波形の周波数特性が、「両者が付着している」と推定した波形と一致していた (Fig-9)。

3) 鋼管とコンクリートが付着していると思われる荷重段階で推定したとり波形が観測されている。

Fig-8, 9にCE、Fig-10, 11にCN

の荷重と波形のオートパワースペクトラムをそれぞれ示した。これらによれば、CNでは比較的低い荷重段階でコンクリートと鋼管の剝離を示す波形が観察されたが、充填コンクリートに膨張コンクリートを用いたCEでは各荷重段階でも剝離を示す波形は観察されなかった。

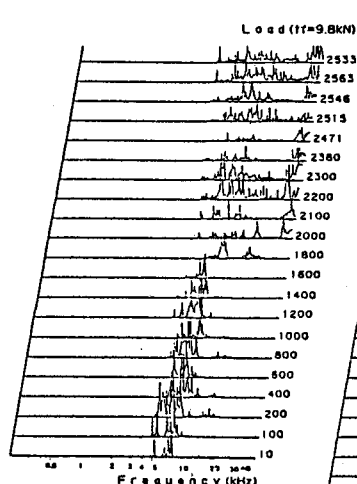


Fig-6
Auto power
spectrum of
impact wave
(SN-1-a)

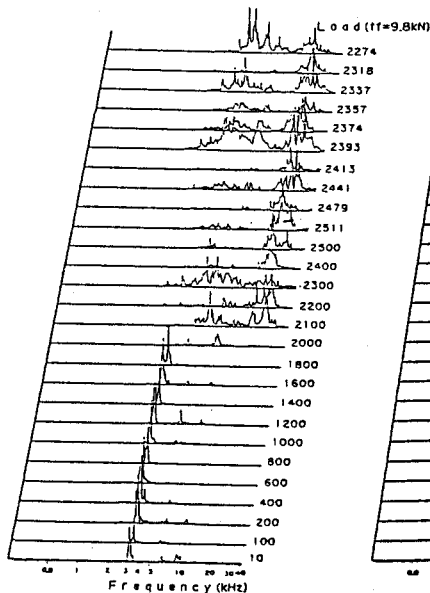


Fig-7
Auto power
spectrum of
impact wave
(SN-1-b)

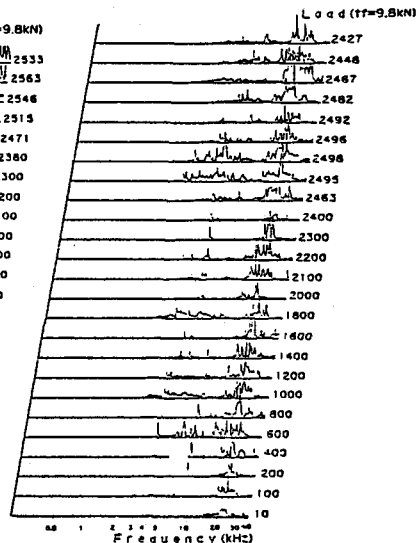


Fig-8
Auto power
spectrum of
impact wave
(CE-a)

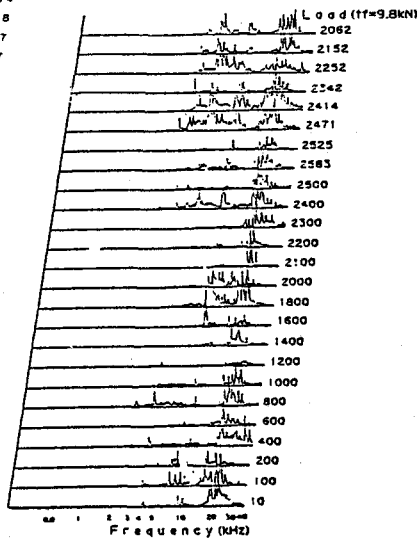


Fig-9
Auto power
spectrum of
impact wave
(CE-b)

次に波形のオートパワー
スペクトラムの面積を一定
の周波数で分割し(ここ
では 15kHz)、分割された両
者の面積比(低周波/高周
波)と各荷重の関係を Fig-
12 に示した。ここで、
各合成柱とも最大耐荷力を
越え、コンクリートと鋼管
が接合していると思われる
状態では面積が 1 以下とな
っている。このような見方
を行ったとき、CE のみ各
荷重段階でコンクリートと
鋼管は付着していることが
わかった。局所的な見方を
すれば、合成柱においてス
タッドを用いた合成柱より
も縞鋼管と膨張コンクリ
ートを組合せた合成柱の方
が一体化されていると思わ
れる。この報告では鋼管面とコンクリートが単に機械的
に密着している状態と、両者が付着した状態とを区別し
ていない。振動特性が上記の二種の接触条件でどのよう
に異なるかは検討していない。

6. まとめ

純圧縮荷重を受けた場合の最大耐荷力はスタッドや縞
の有無により著しい相違は見られなかった。しかし、実
験上に生ずる誤差程度の偏心圧縮に対しても合成柱の耐
荷力を維持させるには、コンクリートと鋼管を機械的に
啗合せる機構が必要であり、縞鋼管は十分これに応える
ものであった。

また合成柱に打撃を加えて発生する弾性波の周波数分
析によって、鋼とコンクリートの局所的な付着状態を定
性的に判定できると思われる。

参考文献

- 1) 河井章好・吉川紀・石崎浩：合成柱を有する鋼製
橋脚の諸問題，橋梁と基礎，Vol.17, No.2，
pp.42~50, 1983, Vol.17, No.3, pp.45~47, 1983
- 2) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：コンクリート充填鋼管の耐荷力，土木研究所資料，
第1728号，p2, 1981.8
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書，Ⅱ編，3章 組合せ圧縮部材

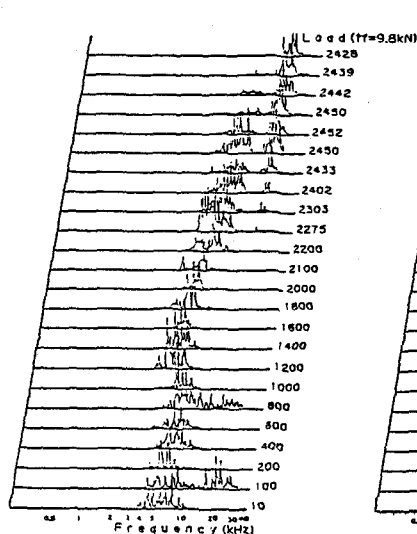


Fig-10
Auto power
spectrum of
impact wave
(CN-a)

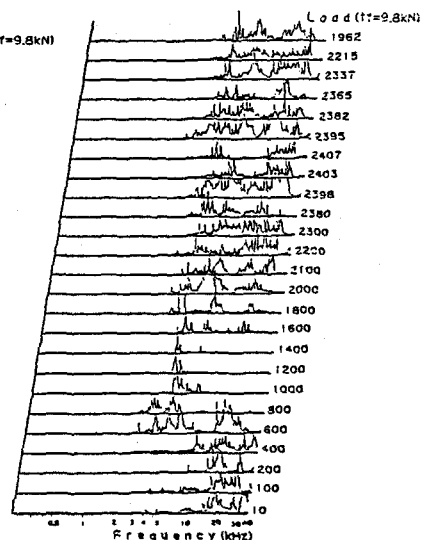


Fig-11
Auto power
spectrum of
impact wave
(CN-b)

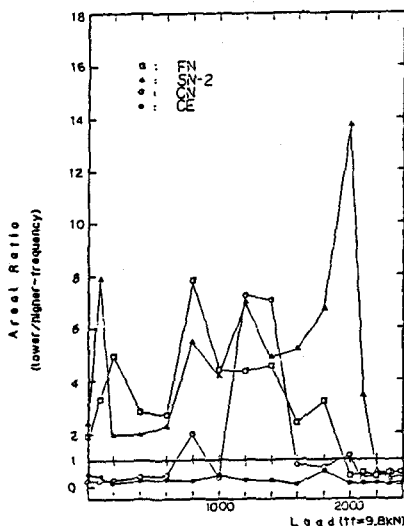


Fig-12
Relation between load
and areal ratio of
higher frequency in
auto power spectrum