

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6338282号
(P6338282)

(45) 発行日 平成30年6月6日(2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月18日(2018.5.18)

(51) Int. Cl.	F 1	
GO 1 N 29/11 (2006.01)	GO 1 N 29/11	
EO 4 G 21/12 (2006.01)	EO 4 G 21/12	1 O 4 Z
GO 1 N 29/48 (2006.01)	GO 1 N 29/48	
EO 1 D 22/00 (2006.01)	EO 1 D 22/00	A
EO 1 D 1/00 (2006.01)	EO 1 D 1/00	D

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2014-238287 (P2014-238287)
 (22) 出願日 平成26年11月25日(2014.11.25)
 (65) 公開番号 特開2016-99294 (P2016-99294A)
 (43) 公開日 平成28年5月30日(2016.5.30)
 審査請求日 平成29年5月23日(2017.5.23)

(73) 特許権者 505398952
 中日本高速道路株式会社
 愛知県名古屋市中区錦二丁目18番19号
 (73) 特許権者 505398963
 西日本高速道路株式会社
 大阪府大阪市北区堂島一丁目6番20号
 (73) 特許権者 505398941
 東日本高速道路株式会社
 東京都千代田区霞が関三丁目3番2号
 (73) 特許権者 507194017
 株式会社高速道路総合技術研究所
 東京都町田市忠生一丁目4番地1
 (74) 代理人 100104570
 弁理士 大関 光弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 PC構造物の診断方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

PC構造物に埋設されたPC鋼材の状態を診断するPC構造物の診断方法であって、
 前記PC構造物の所望の位置に設定された測定位置で検知される振動波形の減衰特性を
 診断対象値として測定する測定工程と、

前記測定工程に先立ち、前記PC鋼材に破断のない状態において前記測定位置で検出さ
 れる振動波形の減衰特性を基準値として測定する予備工程と、

前記測定工程により測定された診断対象値を、前記予備工程により測定された基準値と
 比較することにより、前記PC鋼材の状態を診断する診断工程と、を有する

ことを特徴とするPC構造物の診断方法。

10

【請求項2】

請求項1に記載のPC構造物の診断方法であって、

前記測定位置に設置された加速度センサにより検出された加速度に基づいて、前記振動
 波形の減衰特性を測定する

ことを特徴とするPC構造物の診断方法。

【請求項3】

請求項1または2に記載のPC構造物の診断方法であって、

前記振動波形の減衰特性として対数減衰率を用いる

ことを特徴とするPC構造物の診断方法。

【請求項4】

20

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の P C 構造物の診断方法であって、
前記予備工程および前記測定工程は、
前記 P C 構造物の所望の位置に設定された加振位置に所定の振動を加えて、前記測定位置で検出される振動波形の減衰特性を測定することを特徴とする P C 構造物の診断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プレストレストコンクリートを用いた構造物（P C 構造物）の健全性評価の指標を与える診断方法に関し、特に、既存の P C 構造物の一つである橋梁（P C 橋）の緊張材として用いられている鋼材（P C 鋼材）の状態確認に好適な診断方法に関する。 10

【背景技術】

【0002】

従来、大きな荷重が頻繁に加わる道路橋、鉄道橋等には、P C 鋼材を埋設したプレストレストコンクリートが用いられている。特許文献 1 には、このような P C 構造物に埋設された P C 鋼材の破断を監視する監視システムが開示されている。

【0003】

この監視システムは、P C 構造物中を伝播する弾性波を検出するセンサと、このセンサが検出した弾性波に関するデータを記憶するメモリと、このセンサが基準値を越える弾性波を検出した場合に警告表示を行う制御部と、メモリに記憶された弾性波に関するデータを出力する通信用ポートと、を備えた 2 個 1 組の測定ユニットが、P C 構造物の表面に 1 組以上設置され、各組における 2 個の測定ユニット間で同期をとり、各測定ユニットのメモリに記憶された弾性波に関するデータを、通信用ポートを介して適宜収集できるように構成されている。この監視システムによれば、P C 鋼材が破断した際に解放されるエネルギーによって基準値を超える弾性波が検出された場合に警告表示することができ、これを受けて管理者は、各測定ユニットから弾性波のデータを収集して解析することにより、P C 鋼材の破断状況を診断することができる。 20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 061432 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 に記載の監視システムでは、P C 構造物に 1 組以上の測定ユニットを常設して、弾性波を継続的に監視しなければならない。また、P C 構造物に大きな衝撃が加わった場合等、P C 鋼材が破断した場合以外であっても、基準値を超える弾性波が生じる可能性があるため、いずれかの測定ユニットで基準値を超える弾性波が検出された場合に、各測定ユニットに記憶された弾性波のデータを収集・解析して、P C 鋼材の状態を評価する必要がある。このため、P C 構造物の健全性の診断にコストと時間がかかる。 40

【0006】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、より低コストで効率よく、P C 鋼材の状態を診断することが可能な P C 構造物の診断方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明では、P C 構造物で測定される振動波形の減衰特性を、P C 鋼材に破断のない状態の P C 構造物に対して予め同条件で測定しておいた振動波形の減衰特性と比較することにより、P C 鋼材の状態を診断する。 50

【 0 0 0 8 】

例えば、本発明は、P C 構造物に埋設された P C 鋼材の状態を診断する P C 構造物の診断方法であって、

前記 P C 構造物の所望の位置に設定された測定位置で検知される振動波形の減衰特性を診断対象値として測定する測定工程と、

前記測定工程に先立ち、前記 P C 鋼材に破断のない状態において前記測定位置で検出される振動波形の減衰特性を基準値として測定する予備工程と、

前記測定工程により測定された診断対象値を、前記予備工程により測定された基準値と比較することにより、前記 P C 鋼材の状態を診断する診断工程と、を有する。

【 発明の効果 】

10

【 0 0 0 9 】

本発明者は、P C 構造物の振動波形の減衰特性が、P C 構造物に埋設された P C 鋼材の破断の有無で相違することを見出した。本発明では、P C 構造物で測定される振動波形の減衰特性を、P C 鋼材に破断のない状態の P C 構造物に対して予め同条件で測定しておいた振動波形の減衰特性と比較することにより、P C 鋼材の状態を診断する。このため、振動波形の減衰特性を測定するときのみ、P C 構造物の振動を検出するための装置（加速度センサ）を稼働すればよく、これらの装置を常時稼働しておく必要がない。したがって、本発明によれば、より低コストで効率よく P C 鋼材の状態を診断することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 0 】

20

【 図 1 】 図 1 は、本発明の一実施の形態に係る P C 構造物の診断方法を説明するためのフロー図である。

【 図 2 】 図 2 (A) は、図 1 の予備工程 S 1 を説明するためのフロー図であり、図 2 (B) は、図 1 の測定工程 S 3 を説明するためのフロー図である。

【 図 3 】 図 3 (A) は、載荷・振動試験に用いたポストテンション単純 T 桁橋 1 の一部省略した正面図であり、図 3 (B) および図 3 (C) は、図 3 (A) に示すポストテンション単純 T 桁橋 1 の A - A 断面図および B - B 断面図である。

【 図 4 】 図 4 は、本発明者が実施した載荷・振動試験を説明するための図である。

【 図 5 】 図 5 (A) は、P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態で実施された載荷・振動試験により測定された減衰振動波形を表した図であり、図 5 (B) は、P C 鋼撚り線 2 が 3 本切断された状態で実施された載荷・振動試験により測定された減衰振動波形を表した図である。

30

【 図 6 】 図 6 は、載荷・振動試験によりポストテンション単純 T 桁橋 1 の各位置 C H 1 ~ C H 4 で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表した図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明の一実施の形態について図面を参照して説明する。

【 0 0 1 2 】

本実施の形態に係る P C 構造物の診断方法により、P C 橋等、既存の P C 構造物に埋設された P C 鋼材の状態を診断する。

40

【 0 0 1 3 】

図 1 は、本実施の形態に係る P C 構造物の診断方法を説明するためのフロー図である。

【 0 0 1 4 】

図示するように、本実施の形態に係る P C 構造物の診断方法は、P C 構造物の竣工時等、P C 構造物に埋設された P C 鋼材に破断のない健全な状態において実施される予備工程 S 1 と、定期点検、臨時点検等の点検時期が到来した場合 (S 2 で Y E S) に順番に実施される測定工程 S 3 および診断工程 S 4 と、を有する。

【 0 0 1 5 】

図 2 (A) は、図 1 の予備工程 S 1 を説明するためのフロー図である。

【 0 0 1 6 】

50

まず、診断対象となるPC構造物に起振器および加速度センサを設置する(S11)。ここで、加速度センサは、起振器からPC構造物に埋設されたPC鋼材に伝搬する振動エネルギーのロスが少ない1か所以上の位置に設置することが好ましい。一方、起振器は、PC構造物に埋設されたPC鋼材に振動を加えることができる位置に設置すればよく、例えばPC鋼材の中央部からPC鋼材長さの1/4までの範囲の任意の位置に設置される。

【0017】

つぎに、起振器を動作させ、所定の加振時間、所定周波数および所定加振力でPC構造物を例えば鉛直方向に起振する(S12)。ここで、PC構造物がPC橋である場合、PC橋に発生させる振動は、車両が走行することにより発生する振動を模したものであることが好ましい。また、起振器による起振開始から所定時間経過によりタイムアウトするまでの間、加速度センサを動作させる。そして、その期間中に加速度センサで逐次検出された加速度に基づいて、起振停止後のPC構造物の減衰振動波形を測定する(S13)。それから、起振停止後の減衰振動の減衰特性を表すパラメータとして、例えば、測定した減衰振動波形の隣り合う振幅の比の自然対数である対数減衰率を算出し、これを基準値に設定する(S14)。

【0018】

図2(B)は、図1の測定工程S3を説明するためのフロー図である。

【0019】

まず、予備工程S1にてPC構造物に設置しておいた起振器を動作させ、予備工程S1の場合と同じ起振条件(加振時間、加振力、周波数)でPC構造物を起振する(S31)。また、起振器による加振開始から予備工程S1の場合と同じ所定時間経過によりタイムアウトするまでの間、予備工程S1にてPC構造物に設置しておいた加速度センサを動作させる。そして、その期間中に加速度センサで逐次検出された加速度に基づいて、起振停止後のPC構造物の減衰振動波形を測定する(S32)。それから、予備工程S1と同様に対数減衰率を算出し、これを、PC鋼材の健全性を表す指標となる診断対象値に設定する(S33)。

【0020】

診断工程S4では、測定工程S3にて設定された診断対象値を、予備工程S1にて設定された基準値と比較することにより、PC構造物に埋設されたPC鋼材の状態を診断する。例えば、基準値に対する診断対象値の比率(診断対象値/基準値)、基準値と診断対象値との差分(診断対象値-基準値)等、基準値に対する診断対象値の変動を表す値が所定値未満である場合、PC構造物全体としてのPC鋼材の状態を健全と評価する。また、基準値に対する診断対象値の変動の大きさを表す値が所定値以上である場合には、PC鋼材に破断の可能性があるかと判断するとともに、その値に基づいて破断の程度(何本破断したか)を推定する。

【0021】

なお、ここでは、予備工程S1においてPC構造物に設置した起振器および加速度センサを測定工程S3においてもそのまま利用しているが、予備工程S1の終了時にこれらをPC構造物から撤去するようにしてもよい。そして、測定工程S3の都度、予備工程S1の場合と同じ設置位置に起振器および加速度センサを設置してS31~S33を行い、測定工程S3の終了時にこれらをPC構造物から撤去してもよい。

【0022】

また、PC構造物に振動を発生させるために起振器を用いているが、本発明はこれに限定されない。例えばPC構造物がPC橋である場合、PC橋を走行している車両によって発生する振動を利用してもよい。

【0023】

本発明者は、PC構造物の載荷・振動試験を行った。

【0024】

図3(A)は、載荷・振動試験に用いたPC構造物の一部省略した正面図であり、図3(B)および図3(C)は、図3(A)に示すPC構造物のA-A断面図およびB-B断

10

20

30

40

50

面図である。

【 0 0 2 5 】

図示するように、本発明者は、試験対象の P C 構造物として、1 2 7 m m の P C 鋼撚り線 2 が 5 本配置されたポストテンション単純 T 桁橋 1 を用いた。このポストテンション単純 T 桁橋 1 は、桁長方向の一方の端部 1 1 が可動支承により支持され、他方の端部 1 2 が固定支承により支持されている。ポストテンション単純 T 桁橋 1 における P C 鋼撚り線 2 の配置位置を含むポストテンション単純 T 桁橋 1 の各寸法は、表 1 に示す通りである。

【 0 0 2 6 】

【表 1】

表 1

桁長 L1		17620mm
支間 L2		17145mm
桁高 H		1000mm
フランジ幅 W1		1300mm
脚幅 W2		400mm
PC鋼撚り線 配置位置	A1	80mm
	A2	75mm
	B1	110mm
	B2	90mm

【 0 0 2 7 】

図 4 は、P C 構造物の載荷・振動試験を説明するための図である。

【 0 0 2 8 】

図示するように、ポストテンション単純 T 桁橋 1 の下面 1 4 には、可動支承による支持位置 1 1 から、支間距離 L 2 の約 1 / 4 の距離の地点（第 1 地点）C H 1、支間距離 L 2 の約 2 / 4 の距離の地点（第 2 地点、桁長方向中央部）C H 2、および支間距離 L 2 の約 3 / 4 の距離の地点（第 3 地点）C H 3 のそれぞれに加速度センサ 4 を設置する。また、ポストテンション単純 T 桁橋 1 の上面 1 3 には、第 2 地点 C H 2 と第 3 地点 C H 3 との間の任意の位置（第 4 地点）C H 4 に起振器 3 を設置するとともに、この起振器 3 に加速度センサ 4 を設置する。そして、ポストテンション単純 T 桁橋 1 の上面 1 3 において、第 2 地点 C H 2 を真中に挟んで距離 D（ここでは 2 0 0 m m）離れた 2 地点のそれぞれに静的荷重 P / 2 を加えた状態において、起振器 3 を動作させ、周波数 6 ~ 7 H z の振動を所定の加振力で約 5 秒間加えると同時に、起振器 3 による起振開始から約 2 0 秒を経過するまでの間、その期間中に加速度センサ 4 各々で逐次検出される加速度に基づいて、位置 C H 1 ~ C H 4 における起振停止後の減衰振動波形を測定する。

【 0 0 2 9 】

このような載荷・振動試験を、ポストテンション単純 T 桁橋 1 に埋設されている P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態から、P C 鋼材 2 の破損を模擬して P C 鋼材 2 を 1 本ずつ切断しながら最終的に 4 本の P C 鋼材 2 が切断された状態となるまでの各状態について行った。なお、P C 鋼撚り線 2 の切断は、ポストテンション単純 T 桁橋 1 の桁長方向中央部 C H 2 をコア削孔することにより行った。

【 0 0 3 0 】

図 5 (A) は、すべての P C 鋼撚り線 2 が健全である状態を模擬して P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態で実施された載荷・振動試験により測定された減衰振動波形 5 0 を表した図であり、図 5 (B) は、P C 鋼撚り線 2 が 3 本切断された状態で実施された載荷・振動試験により測定された減衰振動波形 5 1 を表した図である。ここで、縦軸は加速度 (m / s^2) を表しており、横軸は時間 ($s e c$) を表している。なお、減衰振動波形 5 0、5 1 の測定位置 (加速度センサ 4 の設置位置) は、桁長方向中央部 C H 2 である。また、図では、波形の形状を分かりやすくするために、実際に測定された減衰振動波形よりも波長を長くして (周波数を低く) 表示している。

【 0 0 3 1 】

図 5 (B) に示す P C 鋼撚り線 2 が 3 本切断された状態で測定された減衰振動波形 5 1 は、図 5 (A) に示す P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態で測定された減衰振動波形 5 0 に比べて、起振器 3 による起振停止後 (5 秒経過後) における減衰が大きく、急激に振幅が小さくなっている。

【 0 0 3 2 】

図 6 は、載荷・振動試験によりポストテンション単純 T 桁橋 1 の各地点 C H 1 ~ C H 4 で測定された起振停止後の減衰振動波形の対数減衰率を表した図である。ここで、符号 6 0 a ~ 6 0 e は第 1 地点 C H 1 で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表すグラフであり、符号 6 1 a ~ 6 1 e は第 2 地点 C H 2 で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表すグラフであり、符号 6 2 a ~ 6 2 e は第 3 地点 C H 3 で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表すグラフであり、符号 6 3 a ~ 6 3 e は第 4 地点 C H 4 で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表すグラフである。また、各符号の添え字 a は、P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表しており、添え字 b は、P C 鋼撚り線 2 が 1 本切断された状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表しており、添え字 c は、P C 鋼撚り線 2 が 2 本切断された状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表しており、添え字 d は、P C 鋼撚り線 2 が 3 本切断された状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表しており、そして、添え字 e は、P C 鋼撚り線 2 が 4 本切断された状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率を表している。

【 0 0 3 3 】

図示するように、ポストテンション単純 T 桁橋 1 のいずれの地点 C H 1 ~ C H 4 においても、起振停止後の減衰振動波形の対数減衰率が P C 鋼撚り線 2 の切断本数が増加するにしたがい増加し、P C 鋼撚り線 2 が 3 本以上切断された状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率は、P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率に対して有意な差異がみられた。特に、起振器 3 が設置されている第 4 地点 C H 4 では、P C 鋼撚り線 2 が 2 本切断された状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率についても、P C 鋼撚り線 2 が 1 本も切断されていない状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率に対して有意な差異がみられた。なお、実験では、P C 鋼撚り線 2 が 5 本配置されたポストテンション単純 T 桁橋 1 を用いているが、P C 鋼材の配置本数が少ない P C 構造物を用いた場合、より少ない本数の P C 鋼材が破断した場合でも、P C 構造物のプレストレス量に変化し、P C 鋼材が 1 本も切断されていない状態で測定された減衰振動波形の対数減衰率に対して有意な差異が生じると考えられる。

【 0 0 3 4 】

このことから、P C 構造物を起振し、その際に P C 構造物で検出される起振停止後の振動波形の減衰特性が、P C 構造物に埋設された P C 鋼材の破断の有無で相違するため、起振停止後の減衰振動の減衰特性を表すパラメータを、P C 鋼材の健全性の表す指標として用いることによって、P C 構造物全体としての P C 鋼材の状態を定量的に評価可能であることが分かった。また、点検時に測定された振動波形の減衰特性と、P C 鋼材が破断していない状態で予め測定された振動波形の減衰特性との比較により、P C 鋼材の破断の程度 (何本破断したか) を推定できることが分かった。

【 0 0 3 5 】

以上、本発明の一実施の形態を説明した。

【0036】

本実施の形態では、PC構造物を起振し、起振停止後のPC構造物で測定される振動波形の減衰特性を、PC鋼材に破断のない状態のPC構造物に対して予め同条件で測定しておいた振動波形の減衰特性と比較することにより、PC鋼材の状態を診断する。このため、振動波形の減衰特性を測定するときのみ、起振器3および加速度センサ4を稼働すればよく、これらの装置を常時稼働しておく必要がない。また、起振停止後の振動波形の減衰特性を表すパラメータを、PC鋼材の健全性を表す指標として用いて、PC構造物全体としてPC鋼材の状態を定量的に診断するにすれば、PC構造物のプレストレス状態を効率的に把握することができる。したがって、本実施の形態によれば、より低コストで効率よくPC鋼材の破断状態を診断することができる。

10

【0037】

なお、上記の実施の形態では、起振停止後の減衰振動の減衰特性を表すパラメータとして、振動波形の減衰特性として対数減衰率を用いているが、本発明はこれに限定されない。例えば、振動波形の振幅が所定値（加振終了時の振幅の数%）以下となるまでに要する時間、減衰比等を振動波形の減衰特性を表す数値として用いてもよい。

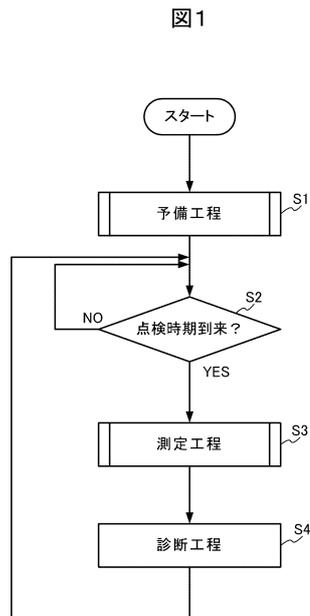
【符号の説明】

【0038】

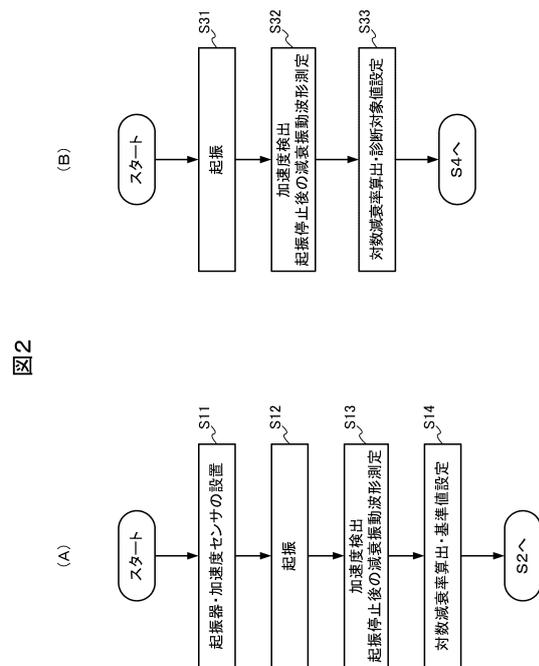
1：ポストテンション単純T桁橋、 2：PC鋼撚り線、 3：起振器、 4：加速度センサ、 11、12：ポストテンション単純T桁橋1の桁長方向端部、 13：ポストテンション単純T桁橋1の上端、 14：ポストテンション単純T桁橋1の下端

20

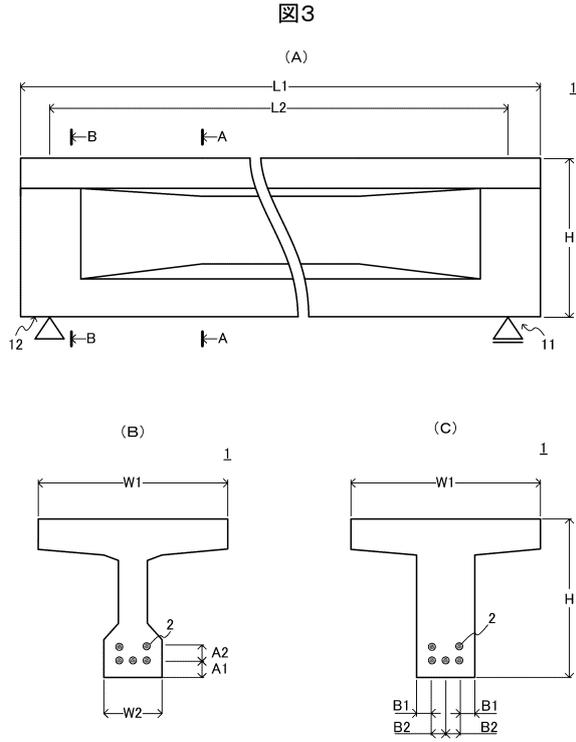
【図1】



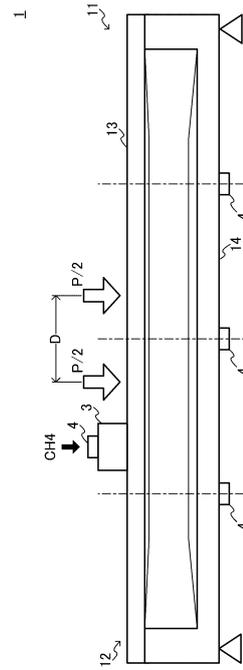
【図2】



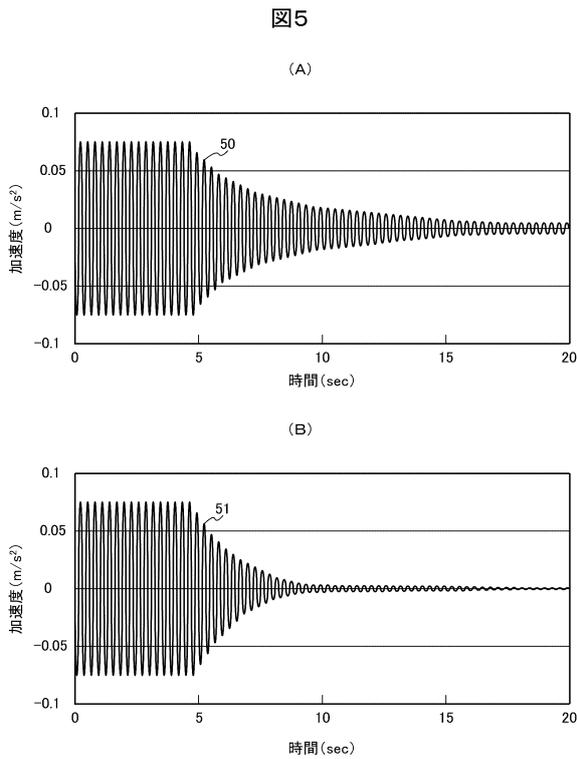
【 図 3 】



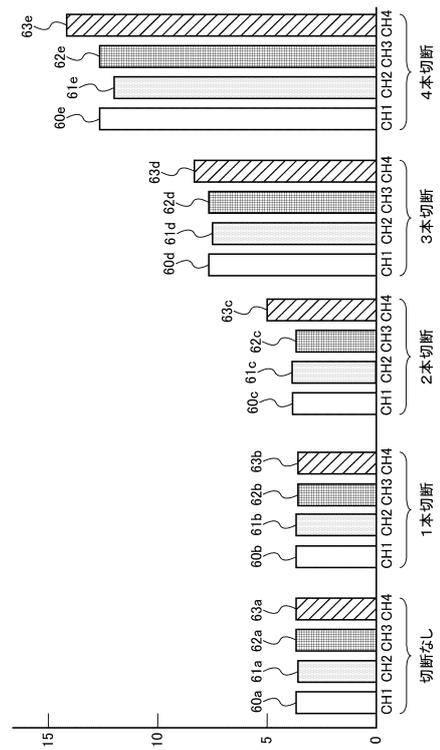
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 青木 圭一
東京都町田市忠生一丁目4番地1 株式会社高速道路総合技術研究所内
- (72)発明者 宮永 憲一
東京都町田市忠生一丁目4番地1 株式会社高速道路総合技術研究所内

審査官 嶋田 行志

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0028328 (US, A1)

特開2005-106812 (JP, A)
特開2011-021974 (JP, A)
特開2005-181302 (JP, A)
特開2005-083752 (JP, A)
特開2005-214937 (JP, A)
特開平7-310501 (JP, A)
特開2004-061432 (JP, A)
特開平10-123105 (JP, A)
特表2004-522948 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00-29/52
E01D 1/00-24/00
E04G 21/12
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)