

土木研究所資料

高炉スラグ碎石コンクリートのせん断試験

昭和58年3月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

Copyright © 1983 fiscal year 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 Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

要 旨

鉄鋼生産時に発生する高炉スラグは、コンクリート用骨材として次第に利用されるようになってきた。しかし高炉スラグ碎石の骨材強度は、一般の骨材の強度よりも劣るとの報告もあり、高炉スラグを用いたコンクリートについて一般の骨材を用いたコンクリートと比較試験を行った。

その結果、高炉スラグ碎石を用いたコンクリートは、普通碎石を用いたコンクリートと破壊メカニズムが異なり骨材でこわれ易く、また、普通碎石を用いたコンクリートよりも引張強度は小さく、せん断強度もやや異なった特性を有していることが明らかとなった。

目 次

1. はじめに	1
2. 骨材試験	3
2.1 目 的	3
2.2 試験方法	3
2.3 試験結果	3
3. コンクリートの強度試験	5
3.1 目 的	5
3.2 試験方法	5
3.3 試験結果	6
4. せん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁のせん断試験	9
4.1 目 的	9
4.2 試験方法	9
4.3 試験結果	9
5. ま と め	13
6. あとがき	14
参考文献	15
付属図	17

1. はじめに

鉄鋼生産時に発生するスラグは、その発生量が非常に多く、鉄鋼生産1トン当りの発生量は、高炉から銑鉄を製造する際に発生される高炉スラグが約300kg、転炉から粗鋼する際に発生される製鋼スラグが約130kg、合計430kgとなる。昭和54年度における総発生量は、電炉スラグを含めると約4000万トンにもおよんでいる。このように大量に発生するスラグは、環境問題や資源有効利用の点からも図-1に示すように多方面に広く利用されるようになっているが、現在の利用分野および将来の使用

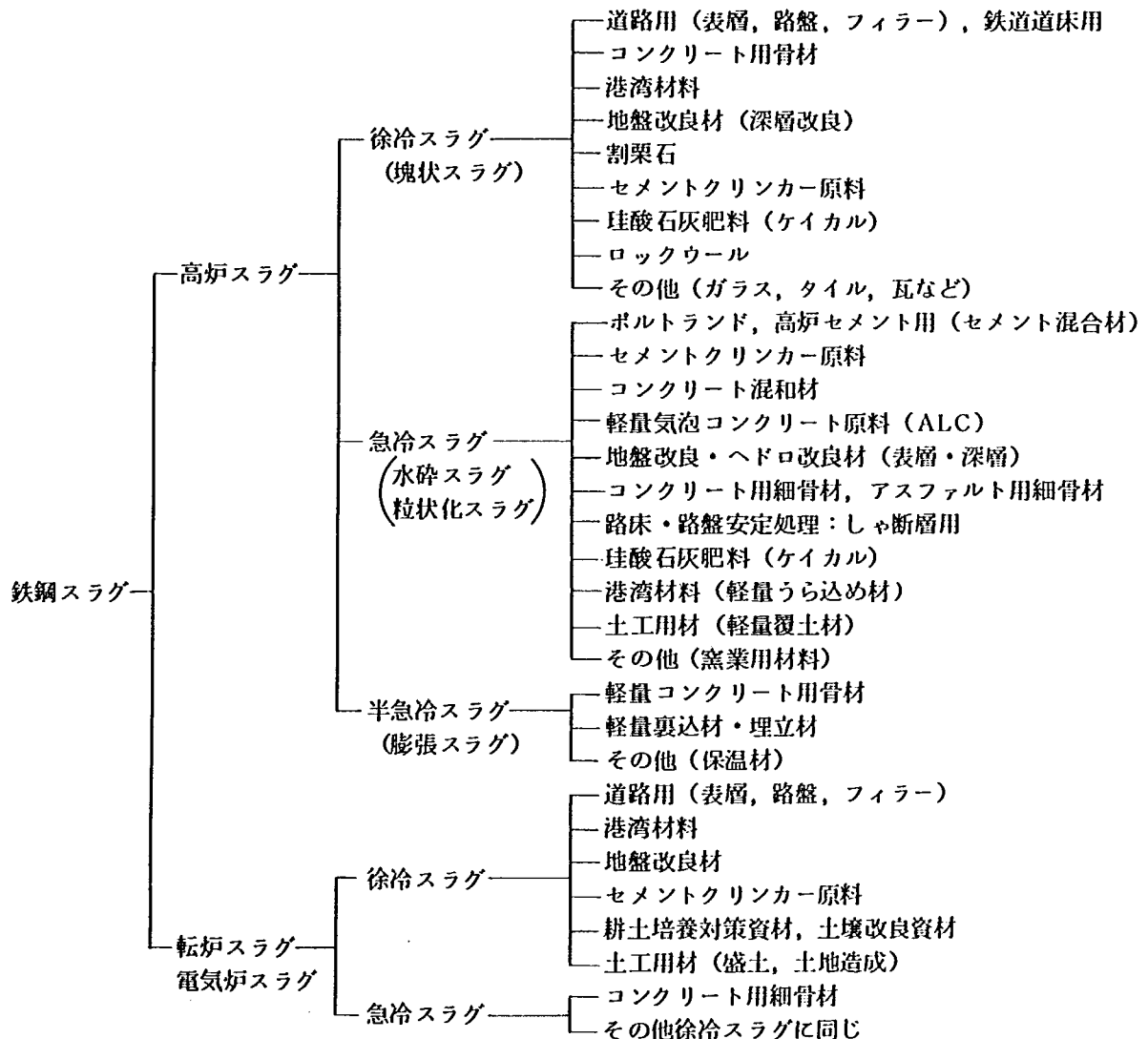


図-1 鉄鋼スラグの用途

見込分野は、そのほとんどが建設材料である。なかでも高炉スラグは、昭和25年3月に高炉セメントとして、昭和52年6月にコンクリート用粗骨材、昭和56年6月にコンクリート用細骨材として、それぞれJISも制定され、コンクリートにも次第に利用されるようになってきた。しかし高炉スラグ骨材をコンクリートに使用する場合、高炉スラグ碎石の骨材自体の強度が一般の骨材と人工軽量骨材（以下、単に軽量骨材と呼ぶ。）のほぼ中間にあるとの報告もあり、コンクリートのせん断許容応力度等を一般のコンクリートと同じとしてよいかどうかを検討していく必要があると思われる。

本報告書は以上のことをふまえ、次のような試験を行ない、その結果を報告するものである。

1) 骨材試験

2) コンクリートの強度試験

3) せん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁供試体のせん断試験

1983年3月

コンクリート研究室 室長 小林 茂 敏

森 濱 和 正

高 橋 正 志

2. 骨 材 試 験

2.1 目 的

コンクリートの強度には圧縮強度だけではなく、引張強度や曲げ強度、付着強度等がある。これらの強度の関係は、骨材自体の強度や付着等により必ずしも一定ではない。軽量骨材のように特殊な骨材を用いたコンクリートでは、骨材がコンクリート強度におよぼす影響が大きく、一般の骨材を用いたコンクリートとは別に圧縮強度に対する各種許容応力度等を定めている場合もある。このようなことから、高炉スラグ（以下、単にスラグと呼ぶ）骨材自体の強度等を知っておく必要が生じた。

本試験において、スラグ碎石の強度特性の特徴を、一般の普通碎石と比較して検討することにした。

2.2 試験方法

本試験では、次の試験を行った。

- 1) 粗骨材の比重および吸水率試験
- 2) 骨材のふるい分け試験
- 3) 骨材の単位容積重量及び実積率試験
- 4) 粗骨材のすりへり試験
- 5) 英国規格による破碎試験

2.3 試験結果

本試験に用いたスラグ碎石はJIS A 5011「コンクリート用高炉スラグ粗骨材」の分類(B)に適合するものであり、比較検討に用いた普通碎石は、笠間産の硬質砂岩である。各種物理試験結果を表-1に、英国規格による破碎試験の荷重～変位曲線を図-2に示す。

表-1からも明らかなように、比重、吸水率、単位容積重量、実積率、すりへり試験のいずれもJIS規格を満足しているものであった。しかし、骨材自体の強度の目安となるすりへり試験および英国規格による破碎試験の損失量は、スラグ碎石の場合、いずれも27.3%、27.7%と比較した普通碎石と比べて約2.6倍の値となっている。また図-2からも明らかなようにスラグ碎石の変位は大きく20tにおけるスラグ碎石の変位と40tにおける普通碎石の変位がほぼ同じであった。このことから、本実験に用いたスラグ碎石の強度は比較した普通碎石の強度よりもかなり小さいと考えられる。

表-1 粗骨材の物理試験結果

	比 重	吸水率 (%)	単位容積重 量(kg/ℓ)	実積率 (%)	すりへり ¹⁾ 試験(%)	破碎試験 ²⁾ (%)	粗粒率
高炉スラグ 碎 石	2.56	1.8	1.48	58.9	27.3	27.7	6.87
普 通 碎 石 (硬質砂岩)	2.67	0.5	1.60	60.2	12.3	10.5	6.64

注) 1) すりへり試験はロサンゼルス試験機によった。

2) 英国規格によった。

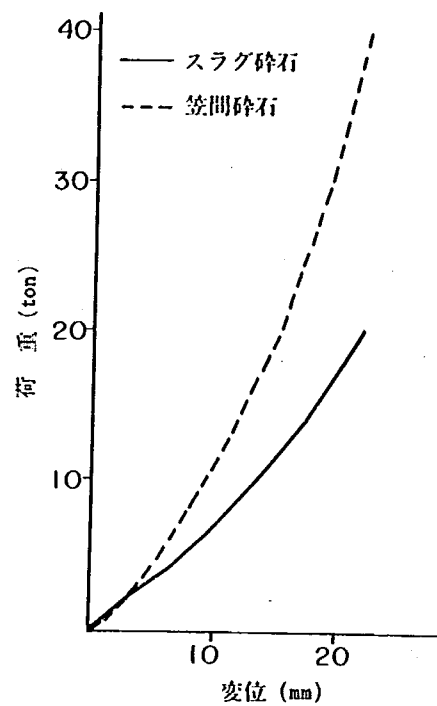


図-2 破碎試験における荷重～変位曲線

3. コンクリートの強度試験

3.1 目 的

2. 骨材試験でも述べたように、コンクリートの強度は、骨材の強度の影響を受ける。スラグ碎石をコンクリートに用いる場合、スラグ碎石が普通碎石よりも、かなり強度が小さいことがわかったので、スラグ碎石を用いたコンクリート強度と一般の骨材を用いたコンクリート強度との違いを知っておく必要がある。

本試験では、特に圧縮強度と引張強度についてスラグ碎石コンクリートと普通碎石コンクリートで比較し検討した。

3.2 試験方法

試験に用いたセメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は表-1に示す碎石を最大寸法20mmで、細骨材は表-2に示す川砂である。試験は、粗骨材の影響によるコンクリート強度を調べることを目的としたので粗骨材量が一定になるようにコンクリートを配合し、それぞれのスランブは 8 ± 2 cmを目標とした。コンクリートの配合を表-3に示す。

表-2 細骨材の物理試験結果

	比 重	吸水率(%)	粒粗率
川砂	2.63	2.2	3.29

コンクリートの圧縮強度試験用供試体および引張強度用供試体は、それぞれ $\phi 10 \times 20$ cm、 $\phi 15 \times 30$ cmとしてJIS規格に準じて製作した。また、圧縮強度試験および引張強度試験は材令28日で行い、養生は水中養生とした。

表-3 コンクリートの配合

使 用 碎 石	骨材の 最大寸法 (mm)	水セメント 比W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 重 量 (kg/m ³)			
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
高炉スラグ碎石	20	40	40	173	433	725	1059
		45	41	173	384	760	1065
		50	42	172	344	794	1069
		55	43	171	311	825	1067
		60	44	170	283	856	1063
		65	45	168	259	888	1057
		70	46	166	237	916	1049
普 通 碎 石 (硬質砂岩)	20	40	41	190	475	710	1038
		45	42	190	422	745	1047
		50	43	190	380	778	1049
		55	44	189	344	813	1049
		60	45	188	313	844	1047
		65	46	180	277	886	1055
		70	47	170	251	921	1057

注) W/C=45, 55%については、圧縮強度および引張強度試験にのみ使用。他は、すべて圧縮強度・引張強度およびせん断試験に使用

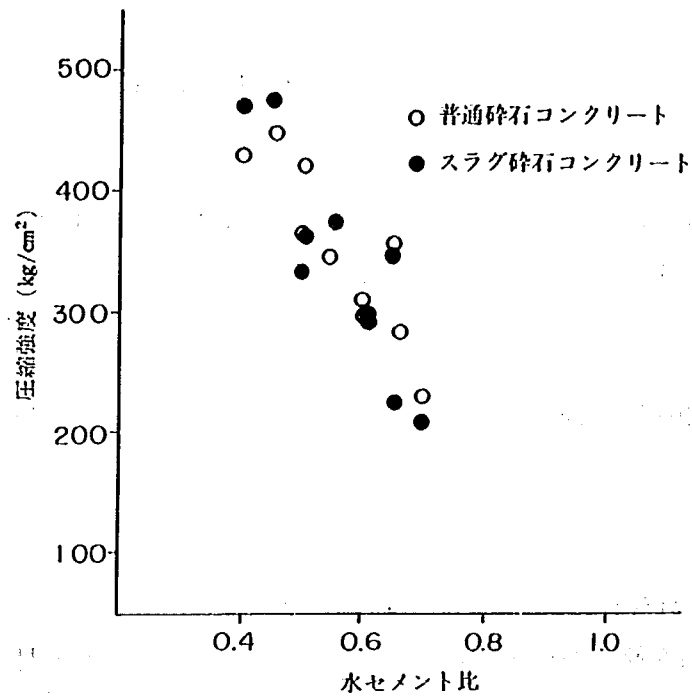


図-3 水セメント比と圧縮強度との関係

3.3 試験結果

水セメント比と圧縮強度との関係を図-3に、圧縮強度とヤング係数との関係を図-4に示す。図-3、図-4からも明らかなように、圧縮強度に関しては、スラグ砕石コンクリートと普通砕石コンクリートとの間に大差が見られなく、ほぼ同等といえる。

一方、水セメント比と引張強度との関係を図-5に、圧縮強度と引張強度との関係を図-6に示す。

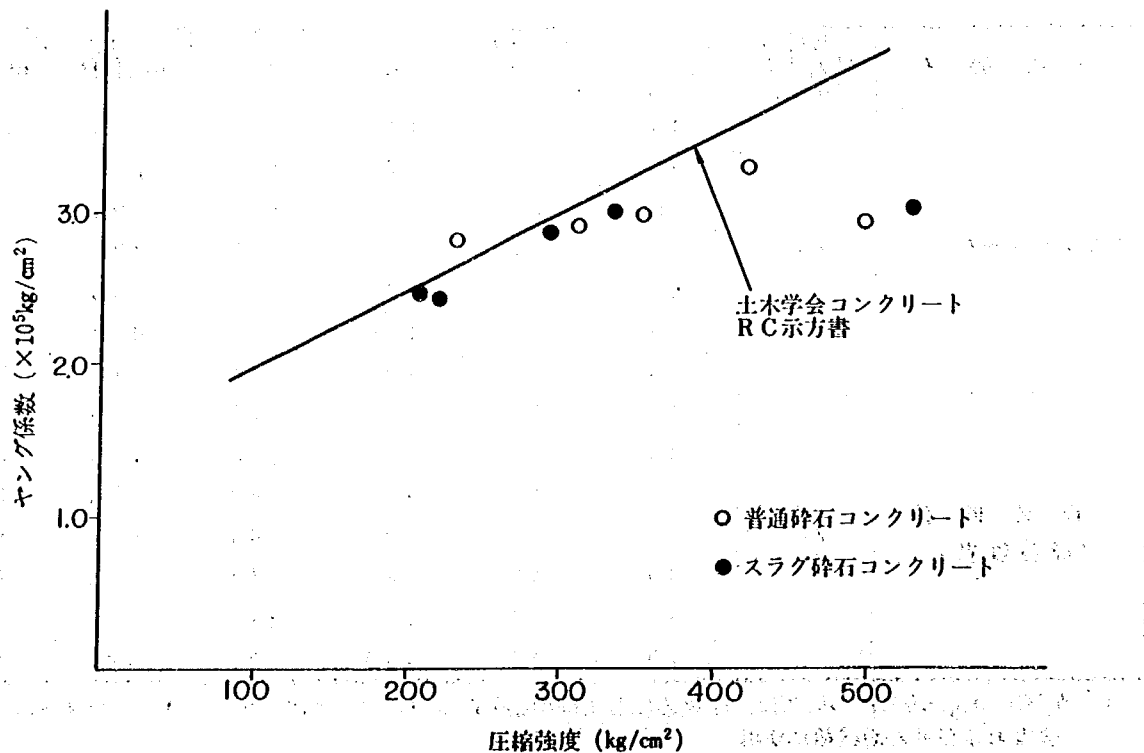


図-4 圧縮強度とヤング係数との関係

図-5、図-6からも明らかなように、多少のバラツキはあるがスラグ碎石コンクリートの引張強度は、圧縮強度が大きくなるに従い普通碎石コンクリートに比べて、引張強度の増加が小さくなる傾向が見られる。割裂面を見るとスラグ碎石コンクリートは、骨材そのものが割れているのに対し、普通碎石コンクリートは、骨材とモルタルの付着面で割れていることが多かった。したがって、引張強度に差があったのは、スラグ骨材が

碎石に比べて引張強度が小さかったためであると考えられる。なお引張強度の試験結果は圧縮試験の結果に比べてバラツキが大きかったが、原因は引張強度試験における供試体内の応力分布が、図-7に示すように圧縮試験に比べて非常に複雑であるので、コンクリート中の骨材の品質のバラツキ等の影響を強く受けやすいのではなかろうかと思われる。

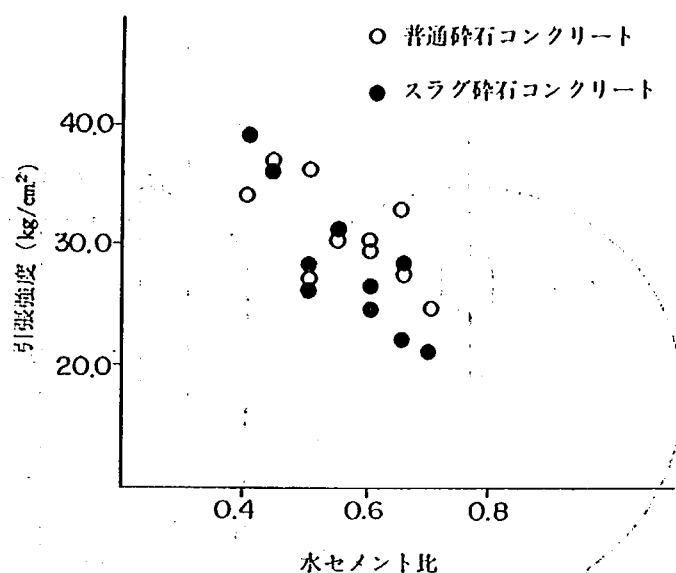


図-5 水セメント比と引張強度との関係

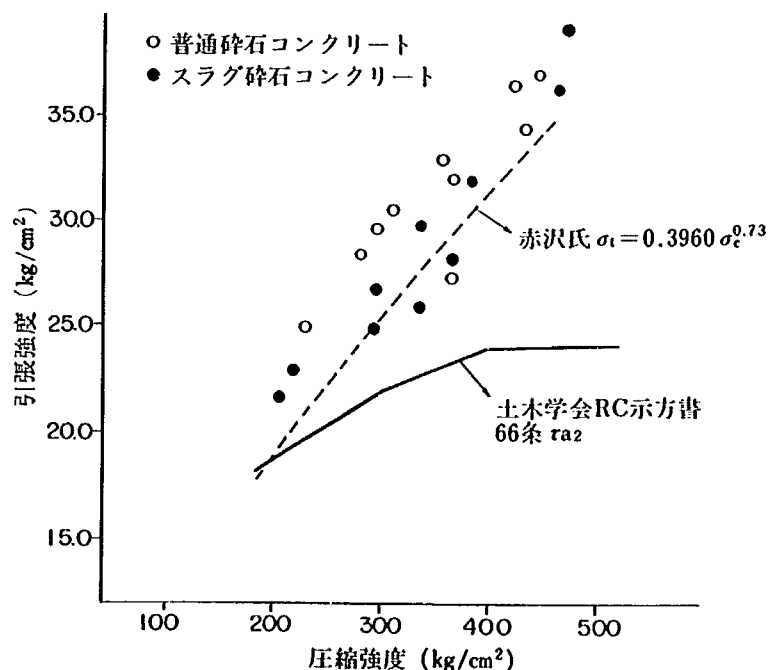


図-6 圧縮強度と引張強度との関係

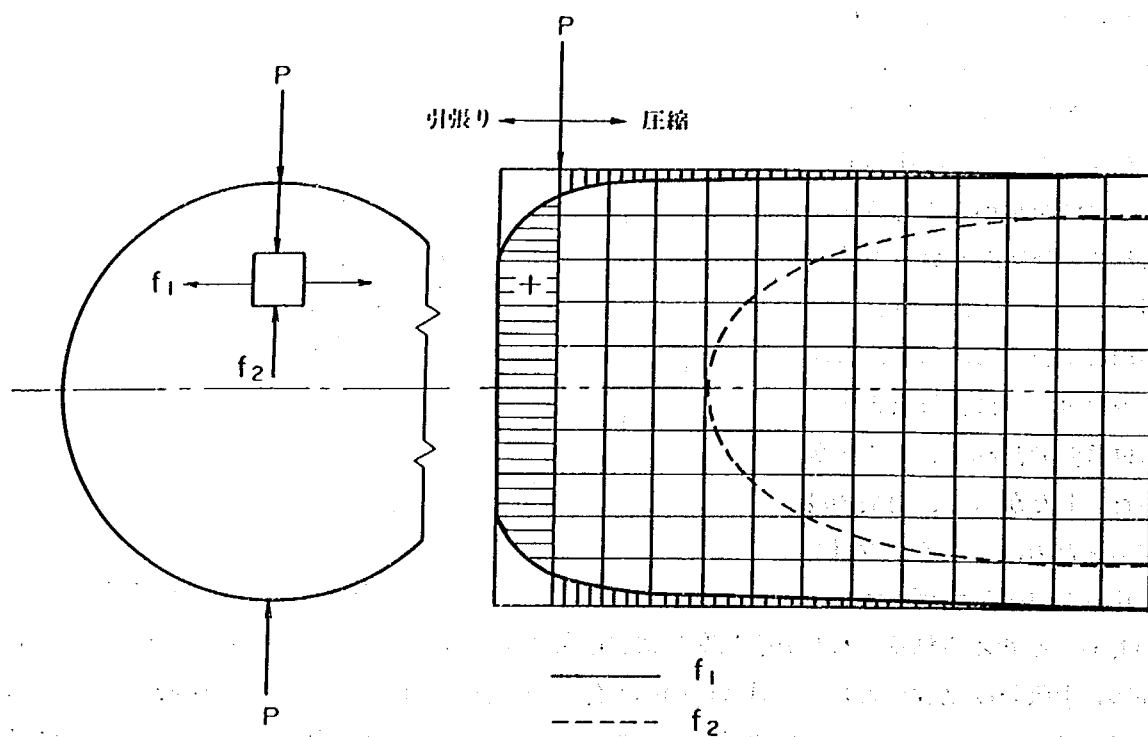


図-7 載荷直径面内の応力分布

4. せん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁のせん断試験

4.1 目 的

コンクリートのせん断強度は、実際には存在せず、曲げとせん断を受ける梁でのせん断力は、斜め引張応力と圧縮応力の相互作用によって抵抗され、せん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁のせん断強度は、コンクリートの引張強度、鉄筋量、鉄筋径、鉄筋のダボ作用、骨材のかみ合い作用などによって影響を受けるものであるといわれている。前章で示したように、スラグ碎石コンクリートは普通碎石コンクリートよりも引張強度が小さく、普通碎石コンクリートのように骨材とモルタルの付着でこわれることはなく、骨材でこわれることが多いので、スラグ碎石コンクリートを用いた梁のせん断強度は、普通碎石コンクリートよりも小さくなることが考えられる。

本試験では、以上のようなことを考え、圧縮強度が同じであってもスラグ骨材コンクリートを用いた梁と普通碎石コンクリートを用いた梁との間にせん断強度の差があるかどうかを調べることを目的とした。

4.2 試験方法

試験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメント、粗骨材は、表-1に示す碎石を最大寸法20 mmで、細骨材は、表-2に示す川砂である。また、今回の試験に用いたコンクリートの配合を表-3に示す。鉄筋は、D19（いずれも横フシ）を用いた。

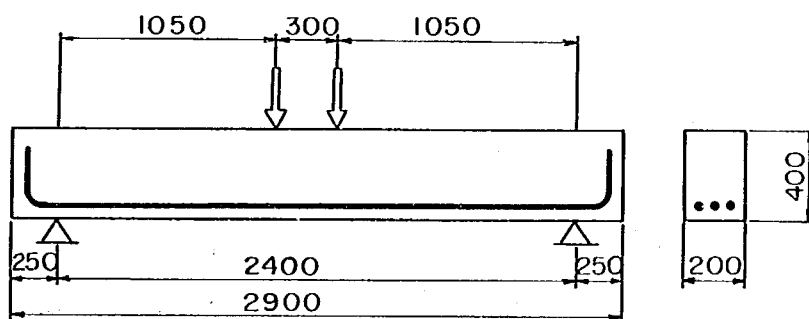


図-8 供試体寸法および荷重方法

試験に用いた鉄筋コンクリート梁供試体は、D19を3本配筋し、鉄筋比が1.23%となるようにした。供試体の寸法および、荷重方法を図-8に示す。図-8に示すように、荷重は2点荷重とし、せん断スパン長は最終的な破壊が斜め引張破壊するように、せん断スパン比3.0となる長さとした。

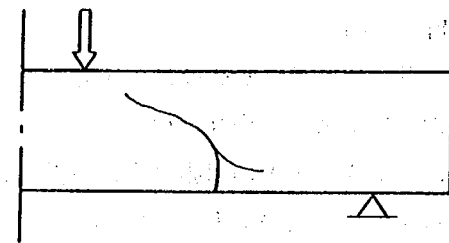
4.3 試験結果

試験は、コンクリートの圧縮強度が約100～500 kg/cm²の範囲で行ったが、最終破壊は、一般にはせん断破壊と称される斜め引張破壊であった。各供試体のひびわれ図を附属図に示すが、同じ斜め引張破壊でも図-9に示すような曲げせん断破壊と斜張力せん断破壊の2種類に大別できるようなものである。曲げせん断破壊とは、最初に曲げひびわれが発生し、荷重を漸次増加するとその曲げひびわれが次第に荷重点に向かって傾斜して破壊に至ったもので、斜張力せん断破壊とは、最初曲げひびわれが発生するが曲げひびわれとは別に腹部に斜めひびわれが発生し、そのひびわれが急激に進展して破壊に

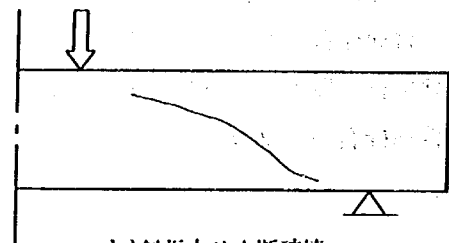
至ったものである。これら斜め引張破壊位置(x/a)と圧縮強度との関係を図-10に示す。図-10からも明らかなように、斜め引張破壊位置が圧縮強度の増加に伴って、くの字状に変化していくようではあるが、スラグ碎石コンクリートは普通碎石ほどその傾向は顕著ではなかった。また、斜め引張破壊位置が支点に近くなると、曲げせん断破壊から斜張力せん断破壊へと進むような傾向が見られる。

圧縮強度と斜めひびわれ発生強度との関係を図-11に示す。スラグ碎石コンクリートと普通碎石コンクリートの間には差はなく、いずれも圧縮強度が 300 kg/cm^2 を超えたあたりから、斜めひびわれ発生強度の伸びは少なくなる傾向が見られる。

圧縮強度と斜め引張破壊強度との関係を図-12に示す。斜め引張破壊強度も圧縮強度が 300 kg/cm^2 を超えるといずれもその増加率が低下するが、スラグ碎石コンクリートの斜め引張強度は、圧縮強度



a) 曲げせん断破壊



b) 斜張力せん断破壊

図-9 代表的な斜め引張破壊

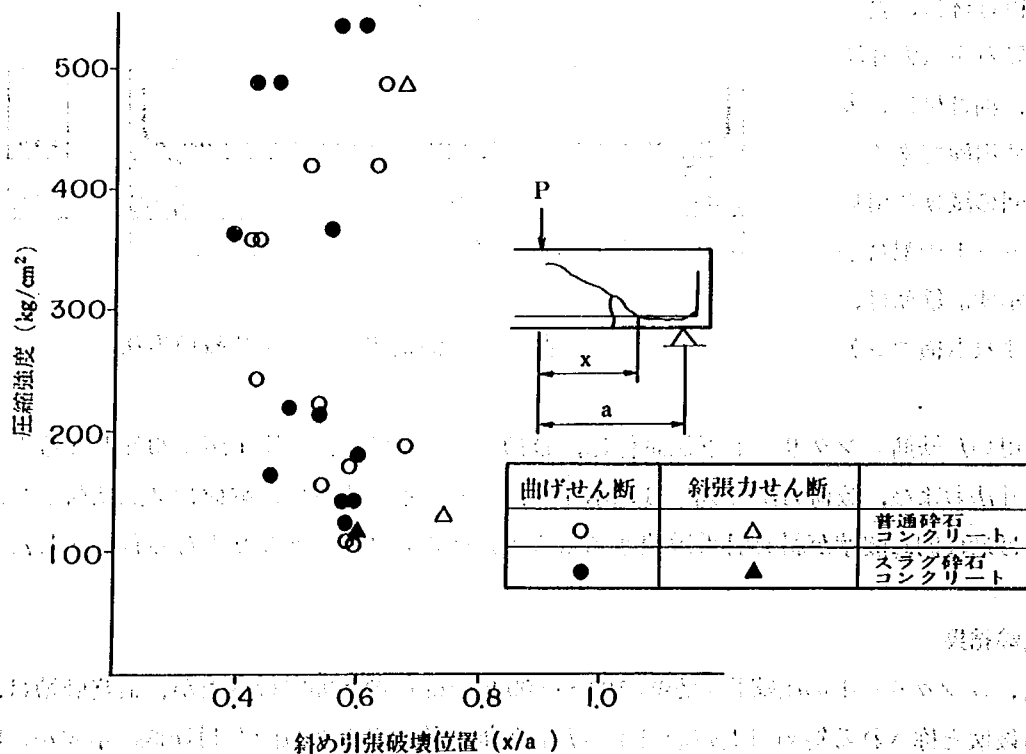


図-10 斜め引張破壊位置と圧縮強度との関係

300 kg/cm^2 程度までは普通碎石コンクリートよりむしろ小さい傾向が見られた。しかし、普通碎石コンクリートの斜め引張破壊強度は、圧縮強度 300 kg/cm^2 程度をピークに伸びがなくなっていくのに対し、スラグ碎石コンクリートは圧縮強度が 500 kg/cm^2 程度まで斜め引張破壊強度は伸び、こ

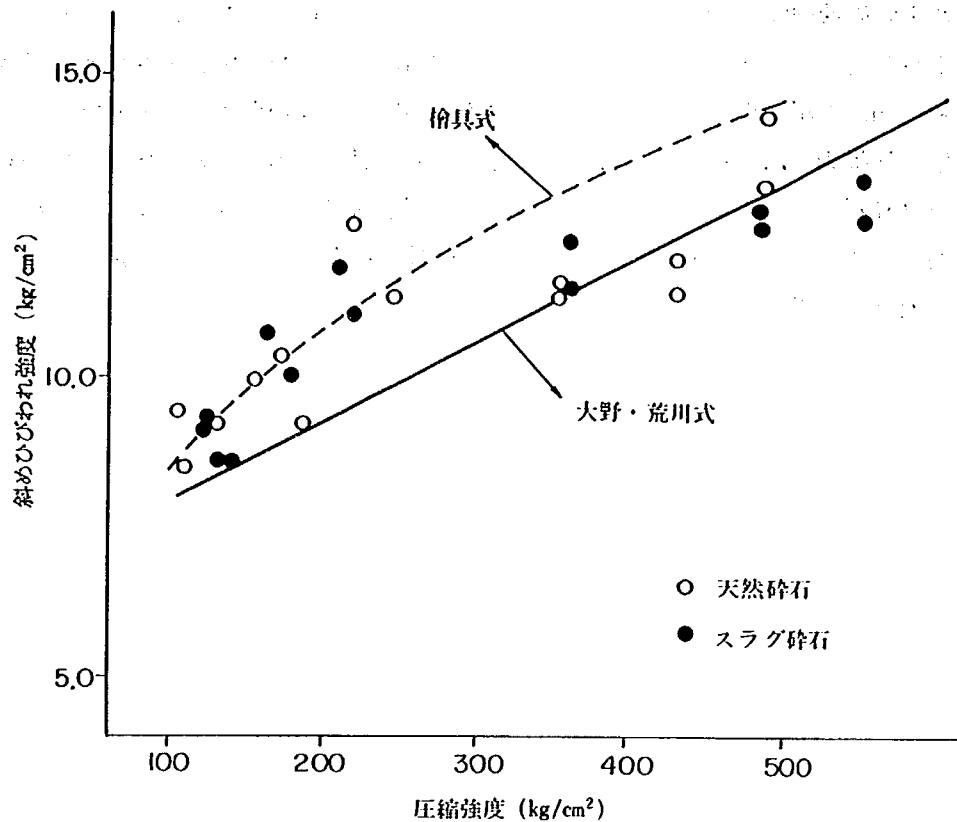


図-11 圧縮強度と斜めひびわれ強度との関係

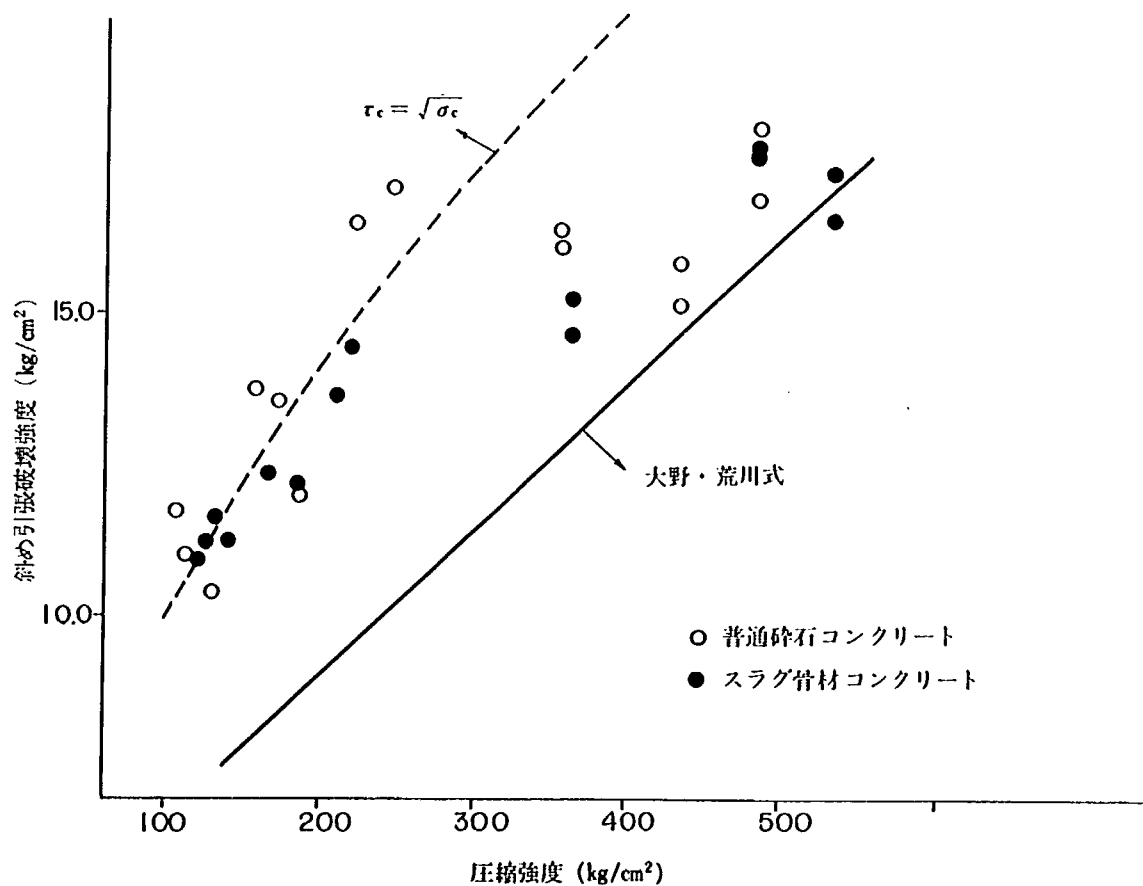


図-12 圧縮強度と斜め引張破壊強度との関係

ここでは最大斜め引張破壊強度に両者の差はなかった。このような結果になったのは、斜め引張破壊位置（図-10）を見てわかるとおり、圧縮強度 300 kg/cm^2 までは斜め引張破壊位置もほぼ同じであったが、 400 kg/cm^2 を超えた付近からは、斜め引張破壊位置に違いが生じ、同じ斜め引張破壊でも曲げせん断破壊と斜張力せん断破壊と分類されてきたためと思われる。また、圧縮強度 300 kg/cm^2 程度まで、スラグ碎石コンクリートの斜め引張破壊強度が普通碎石コンクリートよりも小さかったのは、スラグ碎石コンクリートは、骨材でこわれるために骨材のかみ合い作用が普通碎石コンクリートよりも小さかったためと考えられる。

5. ま と め

今回、スラグ碎石を用いたコンクリートの強度について一連の試験を行った結果、次のことがわかった。

- 1) スラグ碎石は、一般の普通碎石よりもかなり骨材自体の強度が弱いようである。
- 2) スラグ碎石を用いたコンクリートの圧縮強度は、水セメント比が同じ場合には普通碎石コンクリートとあまり大きな差はない。
- 3) スラグ碎石を用いたコンクリートの引張強度は、普通碎石コンクリートよりも小さく、しかも、その破壊メカニズムが異なり、骨材でこわれることが多い。
- 4) スラグ碎石を用いたコンクリートのせん断ひびわれ強度は、普通碎石コンクリートと同程度である。
- 5) スラグ碎石を用いたコンクリートのせん断破壊強度は、通常、鉄筋コンクリート構造物などに用いる圧縮強度約 $200 \text{ kg/cm}^2 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ の範囲では、普通碎石コンクリートよりも小さいが、最大せん断破壊強度については普通碎石コンクリートとほぼ同程度である。

6. あ と が き

スラグ碎石を用いたコンクリートと普通碎石を用いたコンクリートの比較検討を行った本試験によって、試験供試体数の点などで十分とはいえないが、破壊メカニズム等の違いによりスラグ碎石を用いたコンクリートが普通碎石を用いたコンクリートよりも強度的に劣ること、そしてそれがコンクリートの引張強度やせん断強度に影響を与えることがわかった。ただし、せん断ひびわれ強度などを与える影響はあまり大きくないようであるので実験の範囲では、RC部材の設計等でスラグを用いたからといって当面特別な設計方法をとらなくても実用上差しつかえないように思われる。

しかし、本試験では高強度のコンクリートにバラツキが大きかったので、今後は、高強度のコンクリートについてさらに追加試験を行っていくとともに、引張強度の小さいことが特別に影響を与えるような構造物について検討するのがよいと思われる。

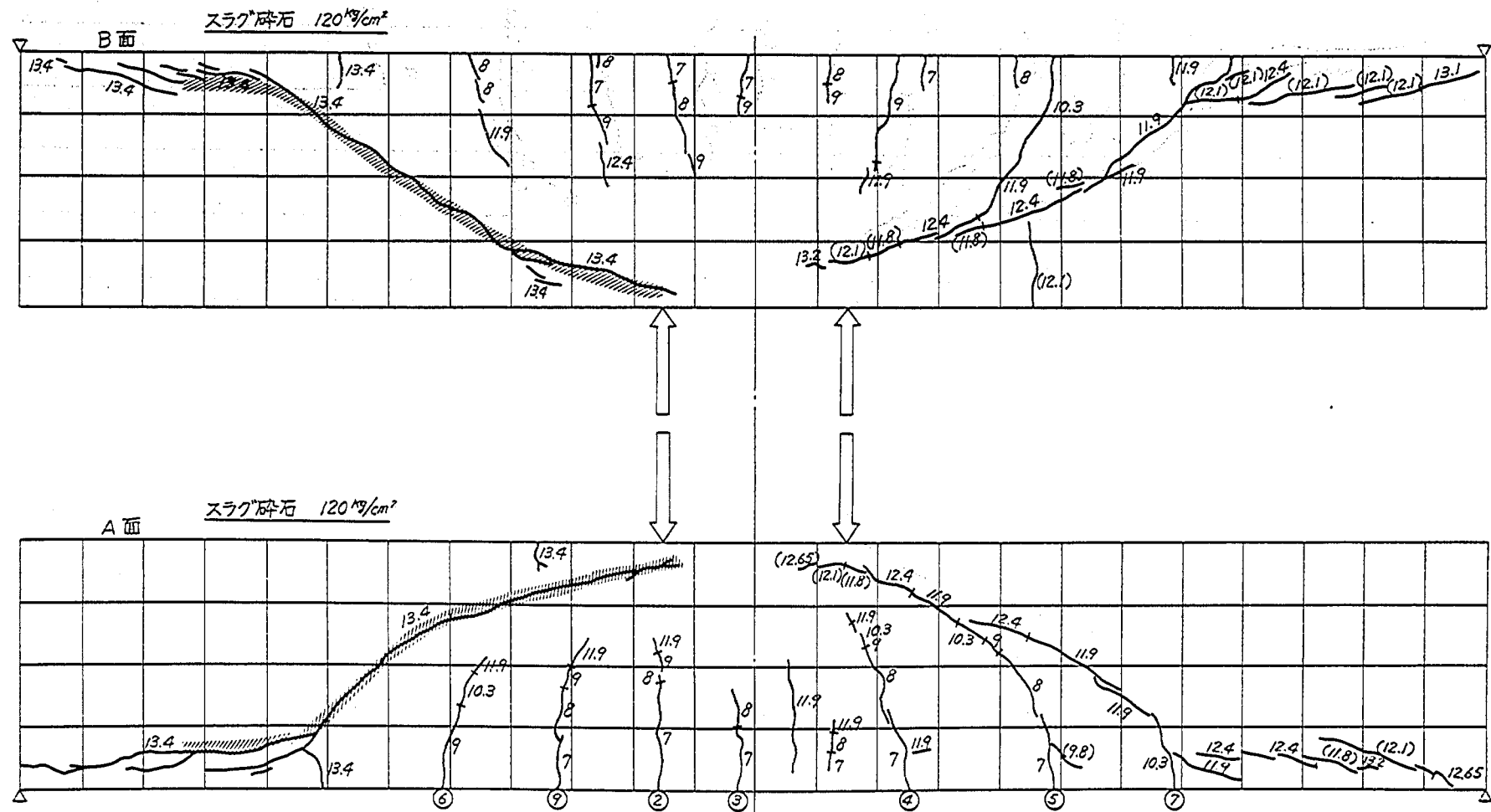
参 考 文 献

- 1) 鉄鋼のスラグ, 日本鉄鋼連盟
- 2) 森島, 大内, 綾, 岩本: 高炉スラグ砕石の物性がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響に関する研究, 第36回セメント技術大会講演会要旨
- 3) 森島, 大内, 綾, 岩本: 高炉スラグ砕石コンクリートの内部ひびわれ成長に関する実験研究, セメント技術年報35
- 4) コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店
- 5) 広沢: 鉄筋コンクリート部材の強度と靱性, 建設省建築研究所報告, No 76, 1977. 3
- 6) Fritz Leonhardt : Shear in Concrete Structures

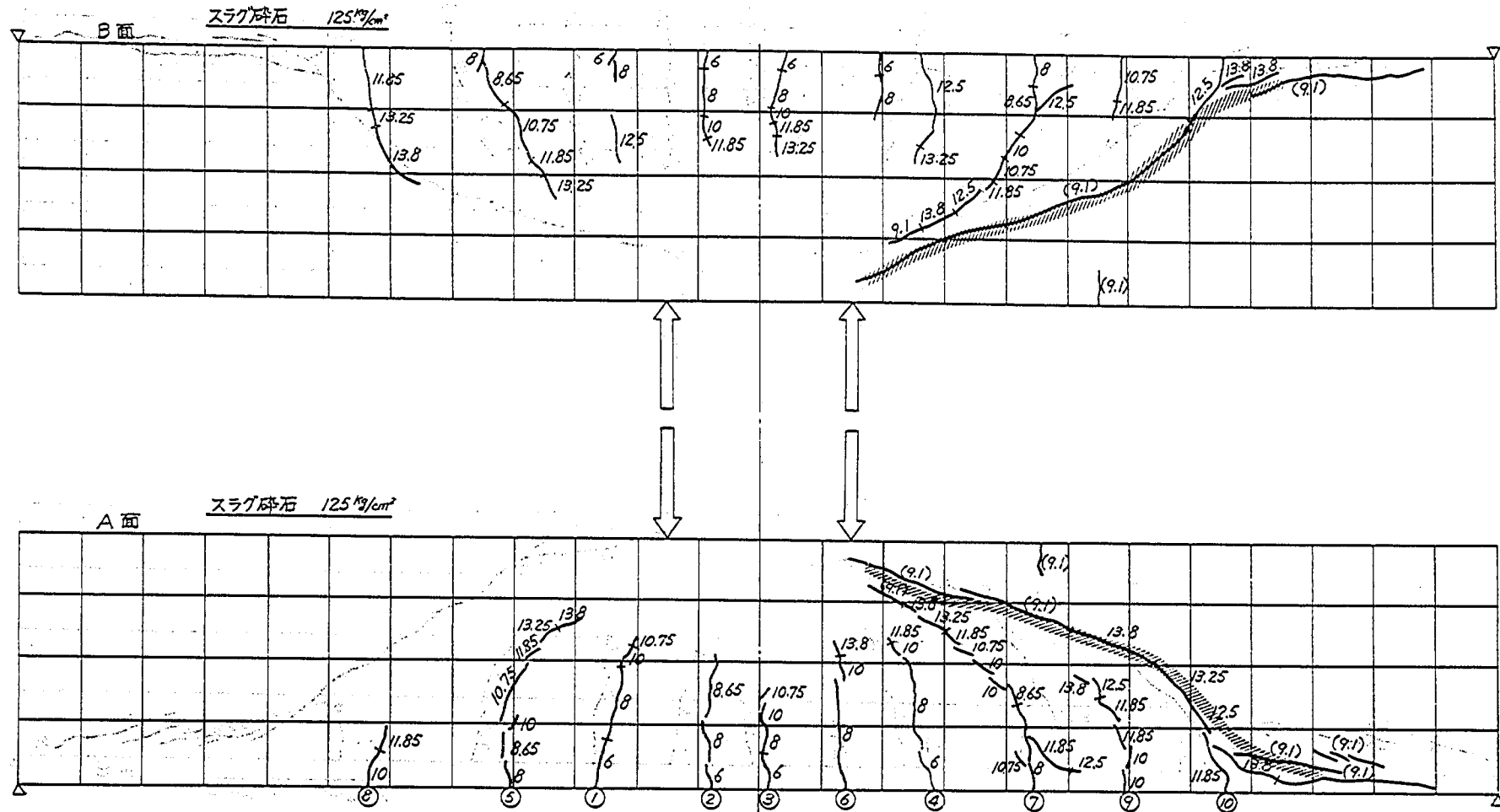
付 属 図

11 22 11

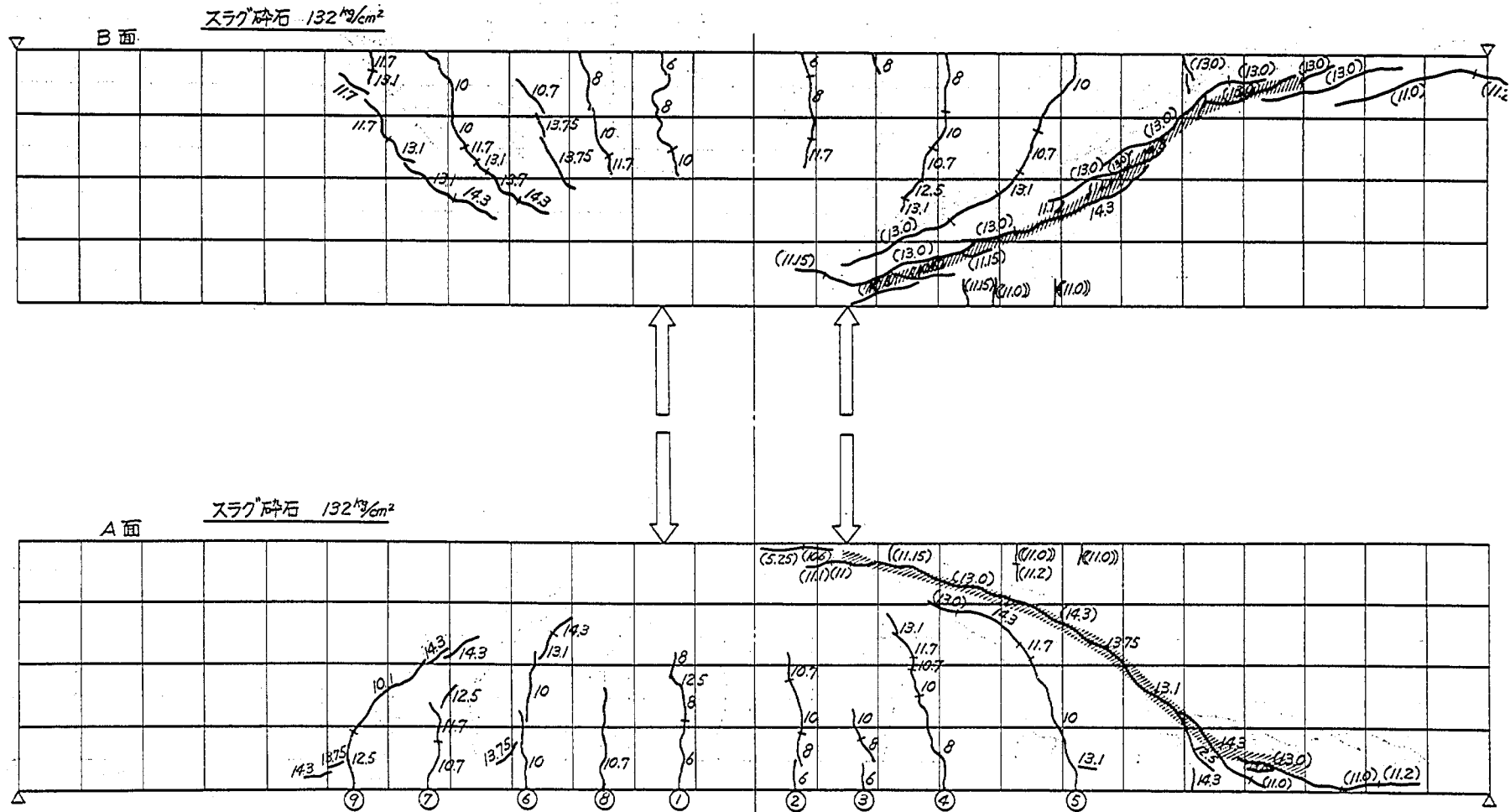
スラグ碎石 120 kg/cm²



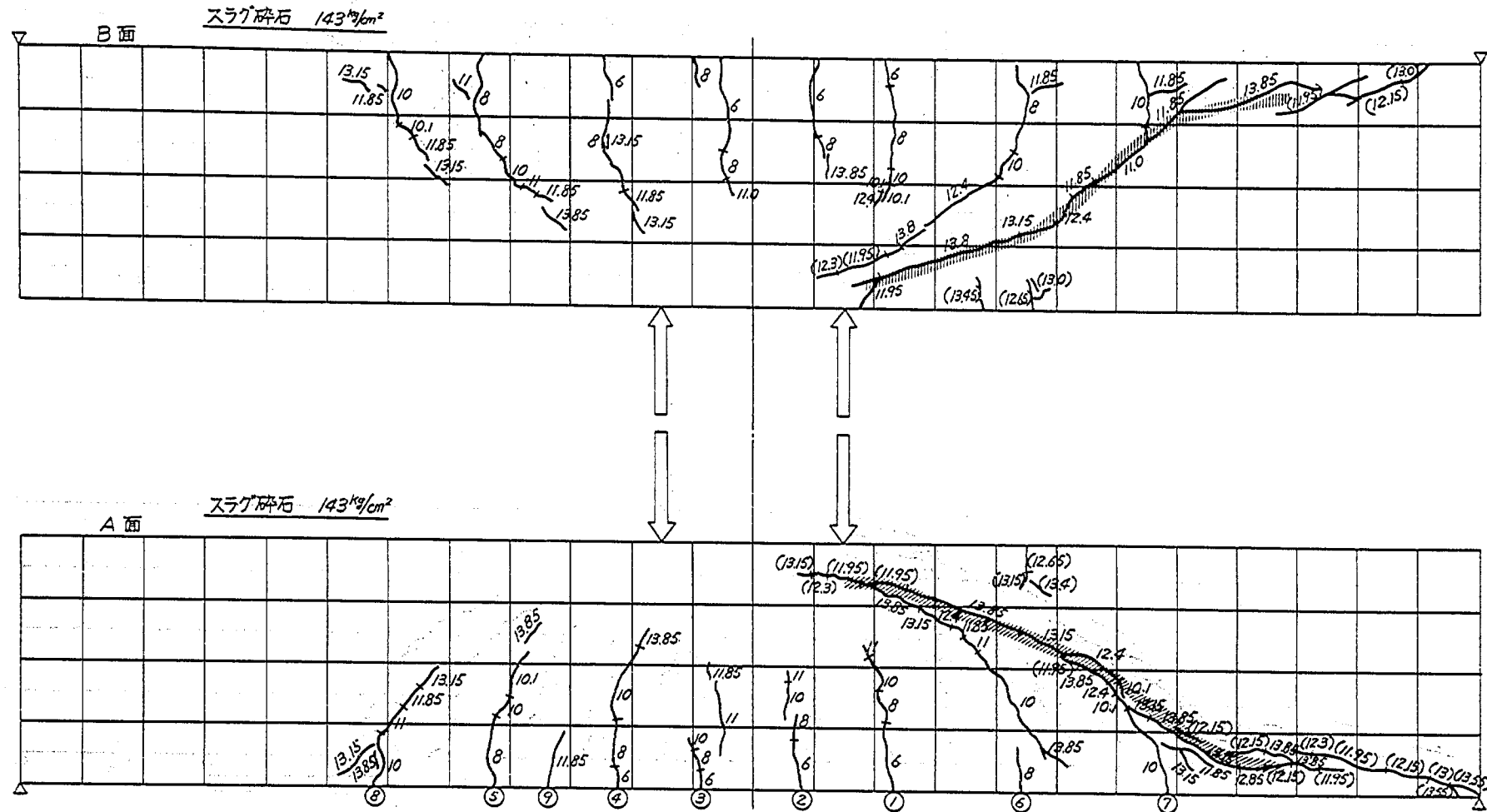
スラグ碎石 125 kg/cm²



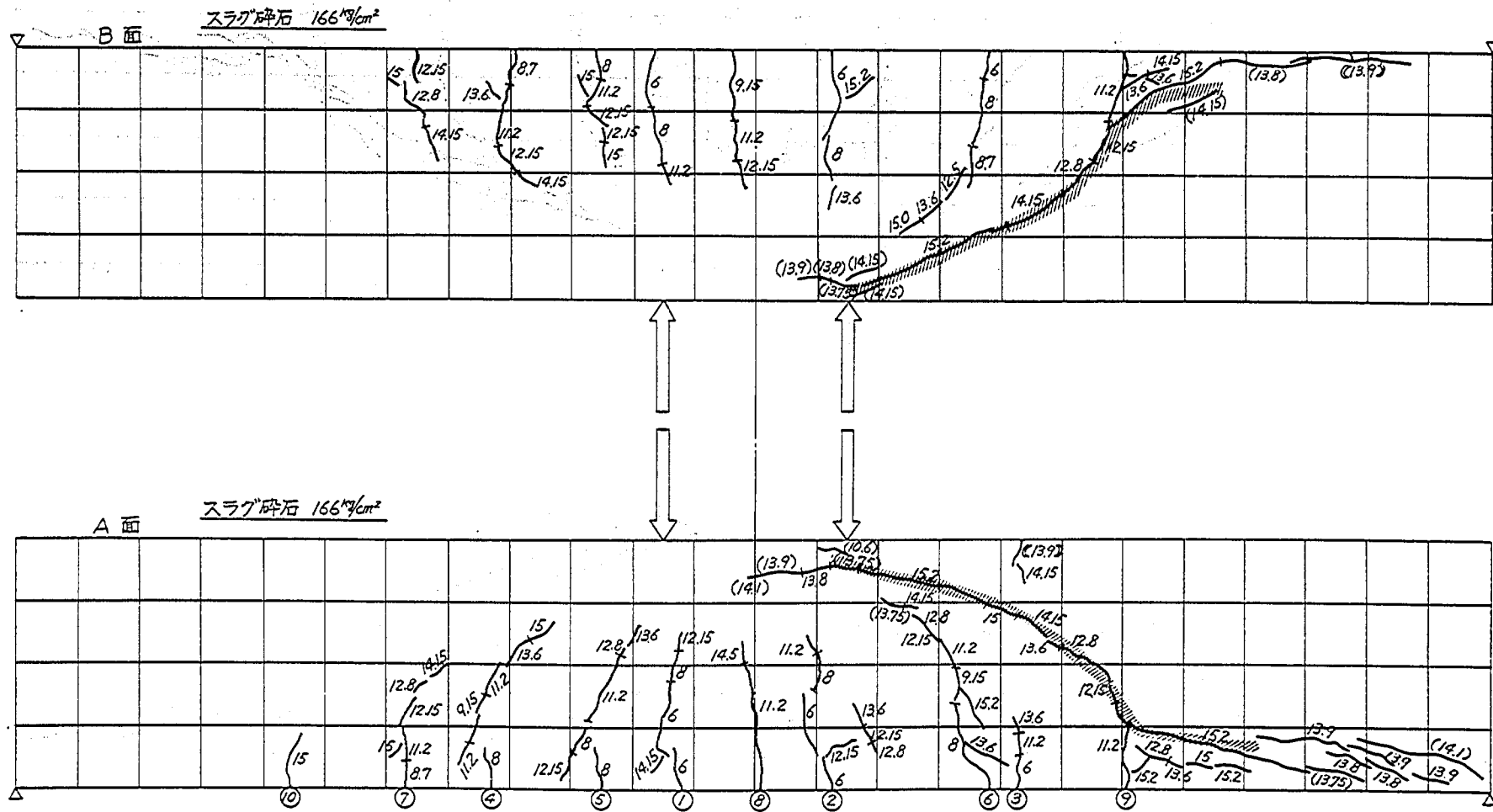
スラグ碎石 132 kg/cm²



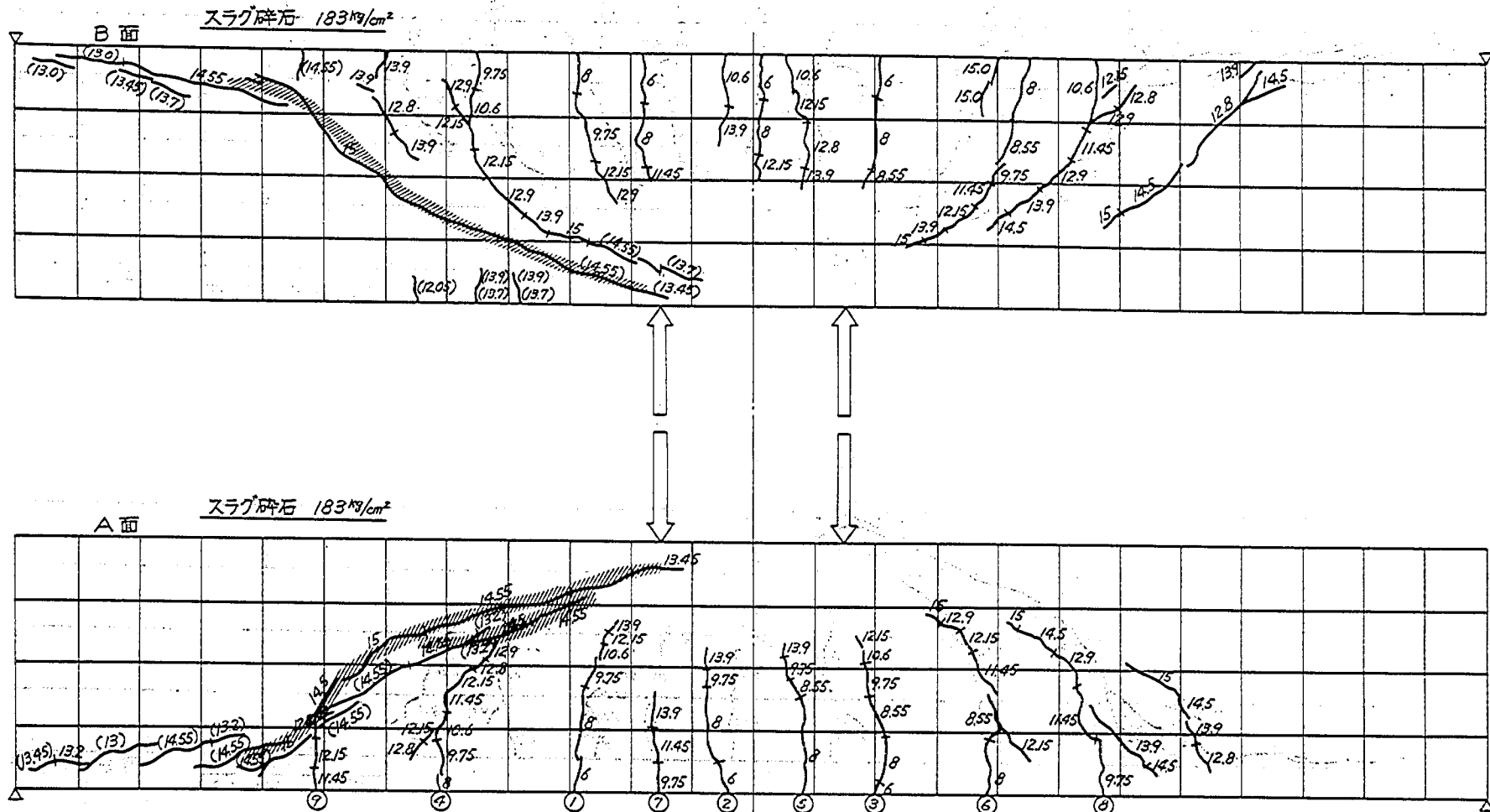
スラグ碎石 143 kg/cm²



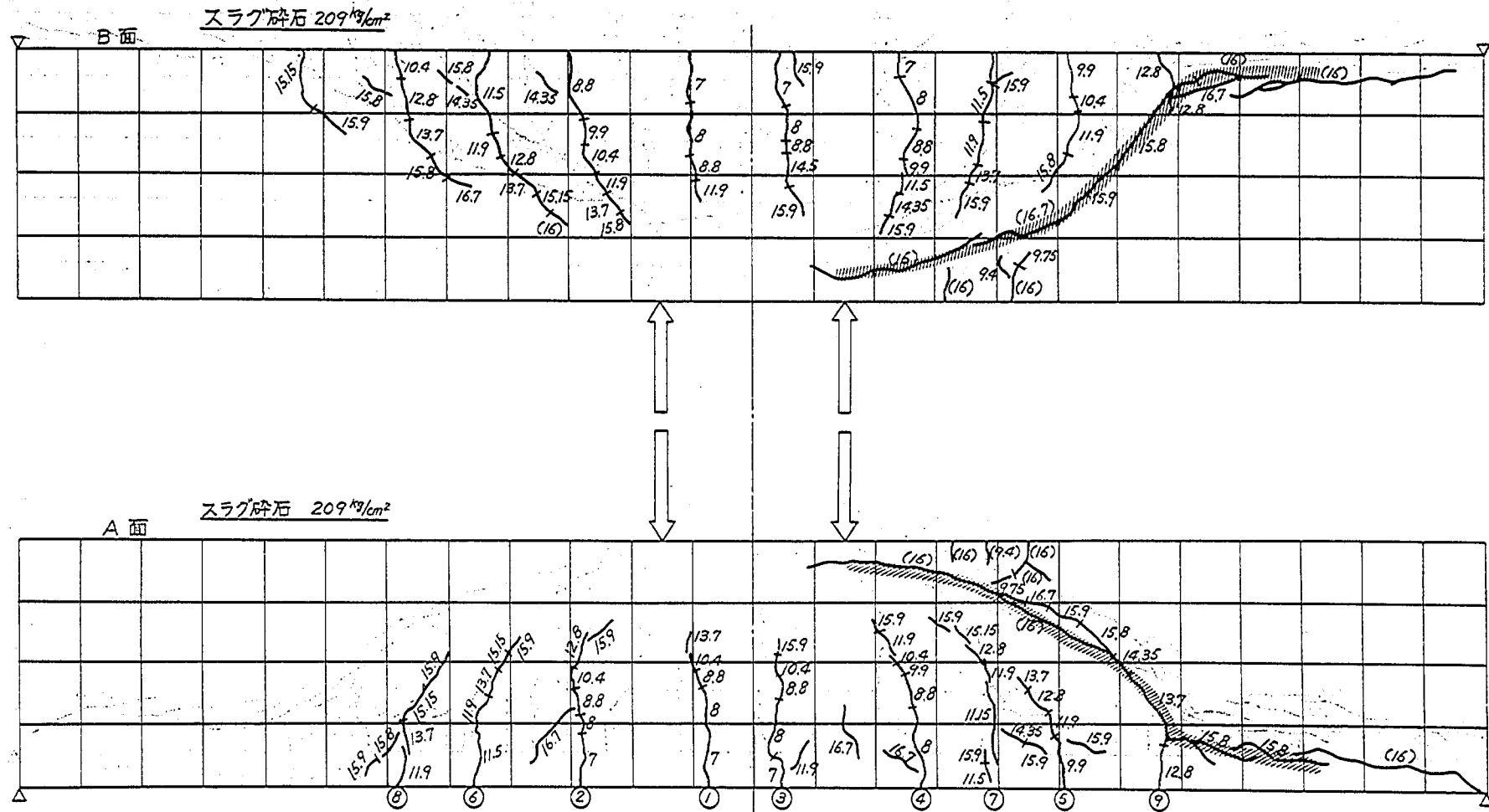
スラグ碎石 166 kg/cm²



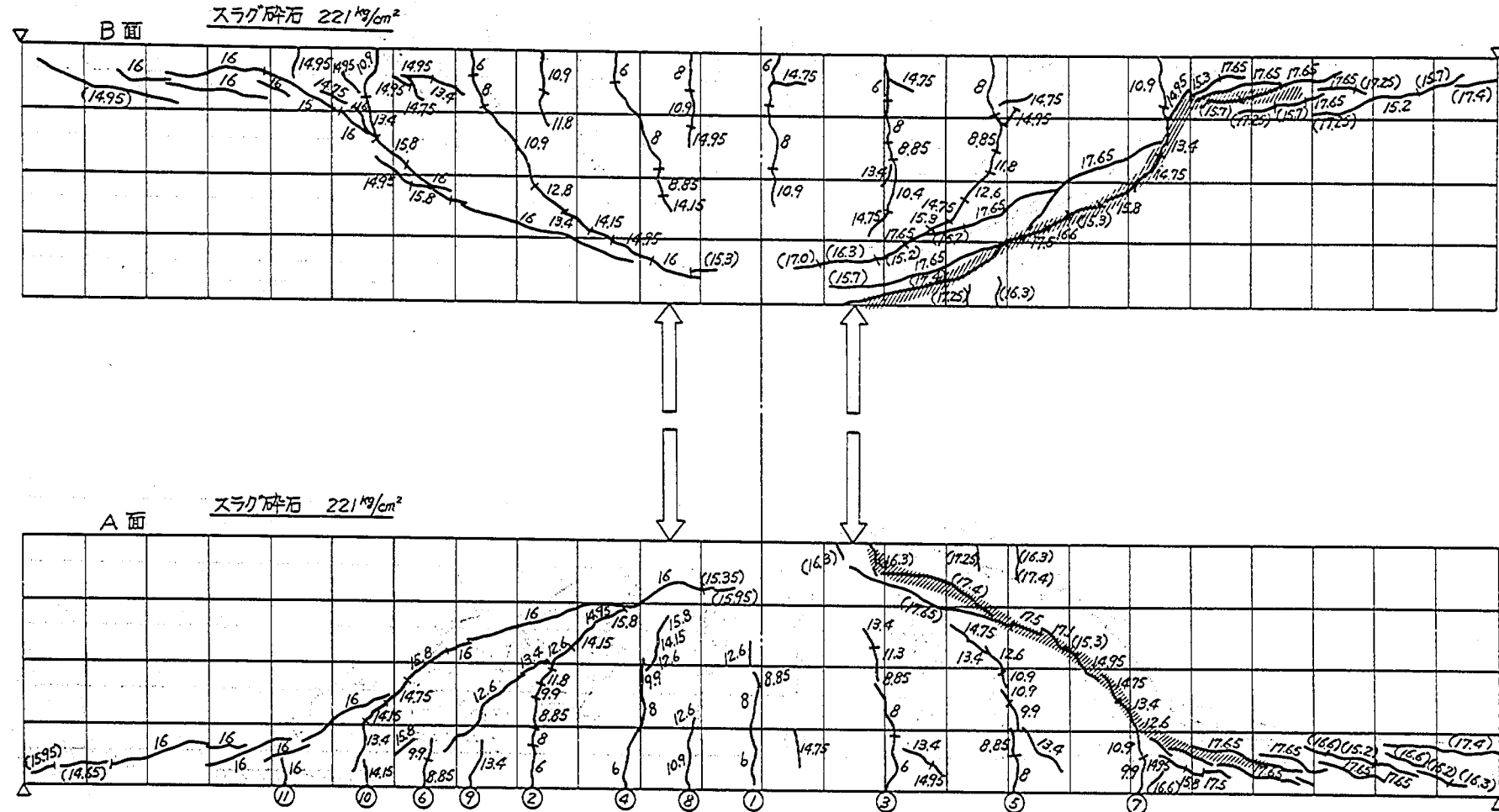
スラグ碎石 183 kg/cm²



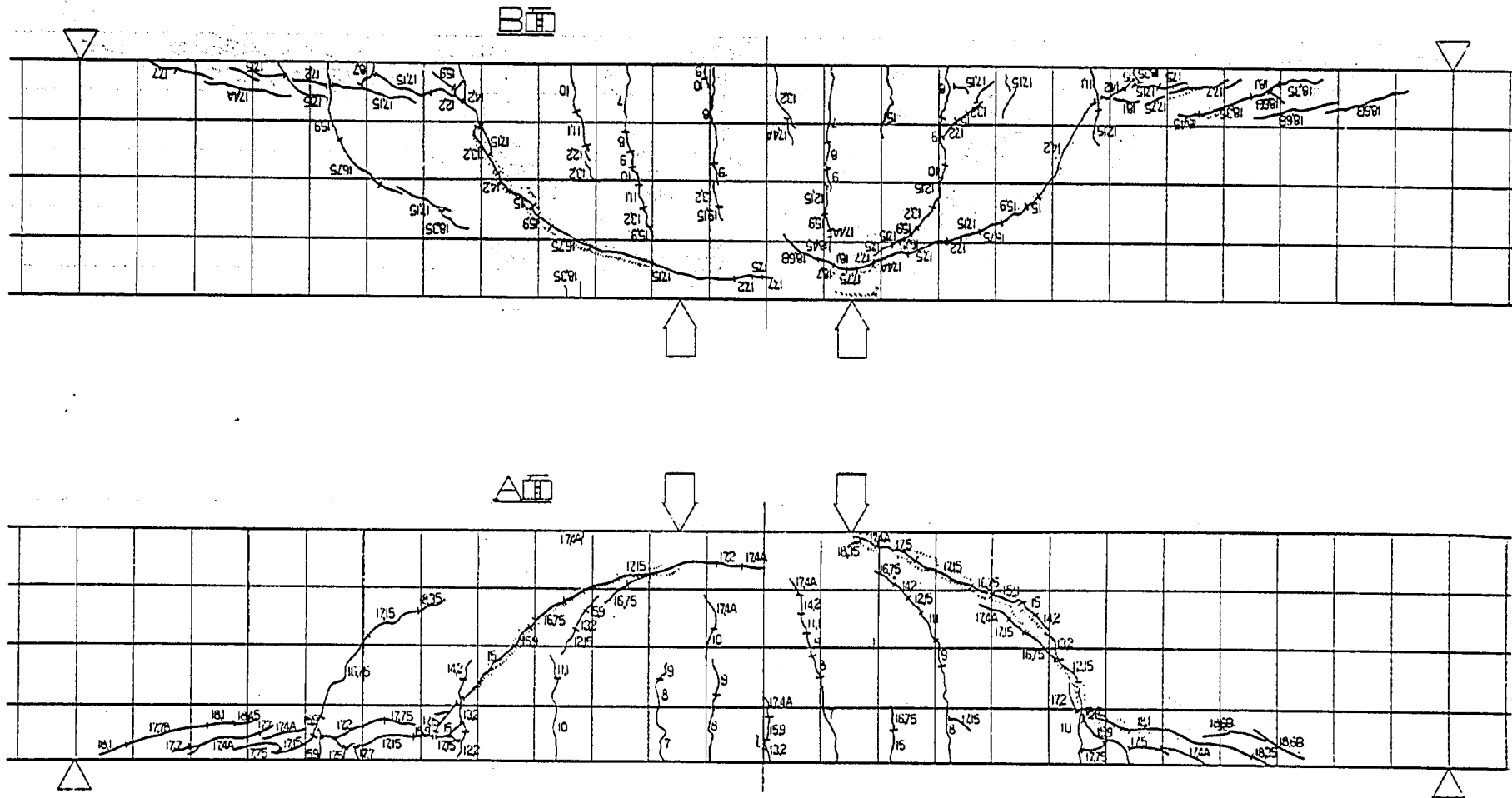
スラグ碎石 209 kg/cm²



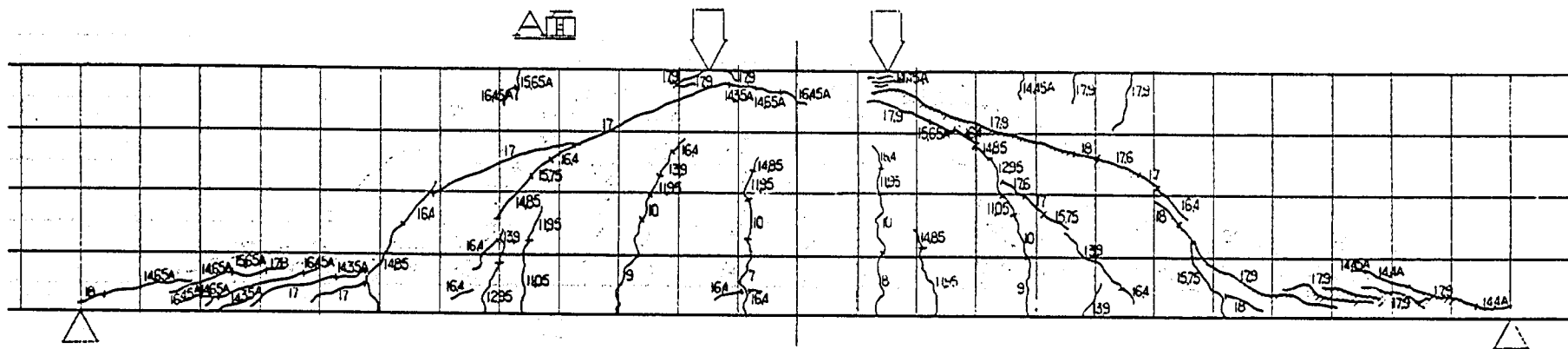
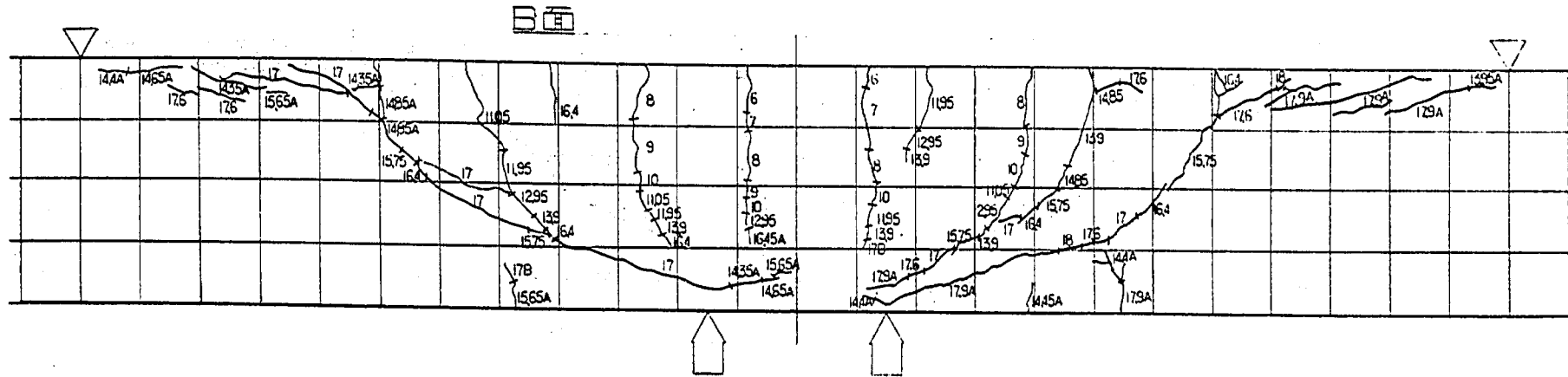
スラグ碎石 221 kg/cm²

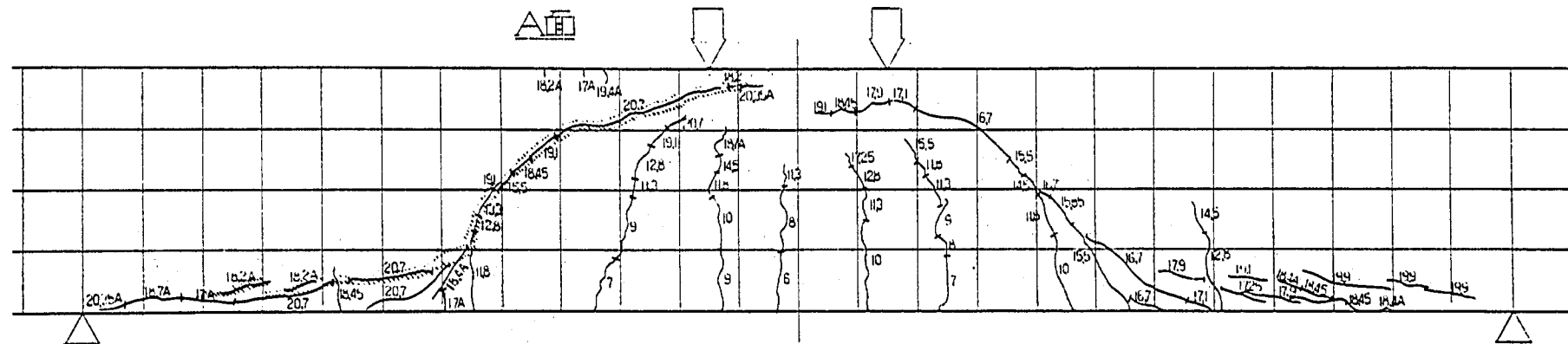
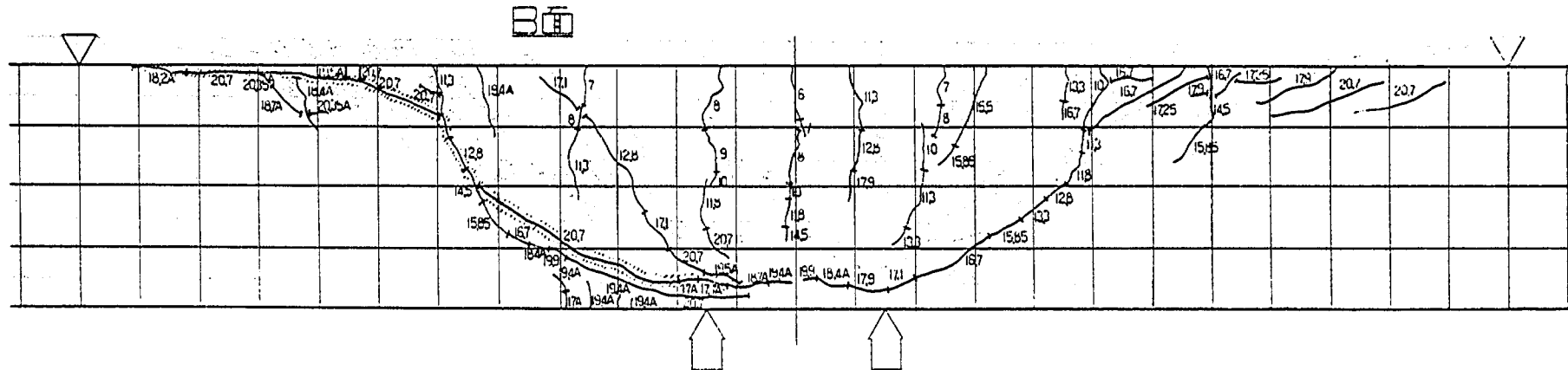


スラグ碎石 365 kg/cm²



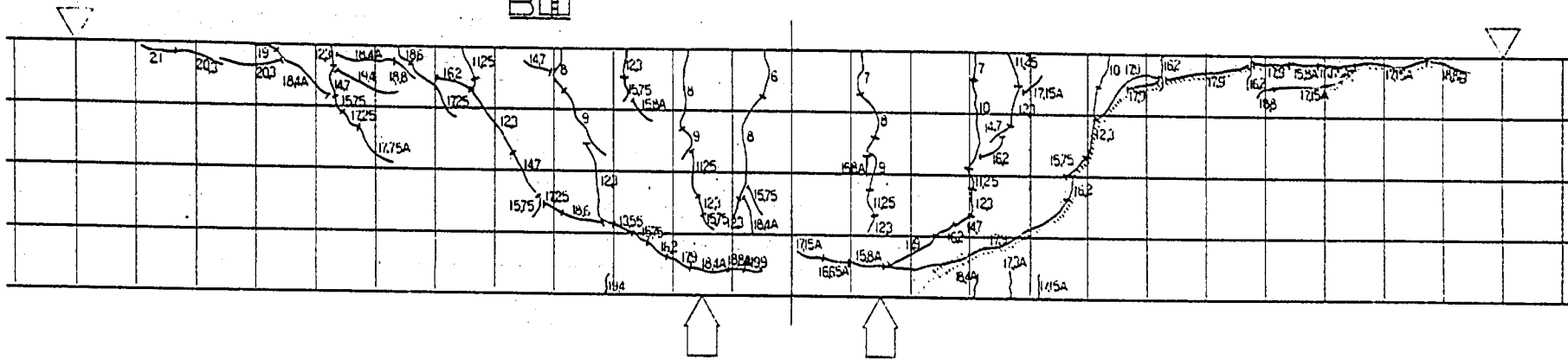
スラグ碎石 365 kg/cm²



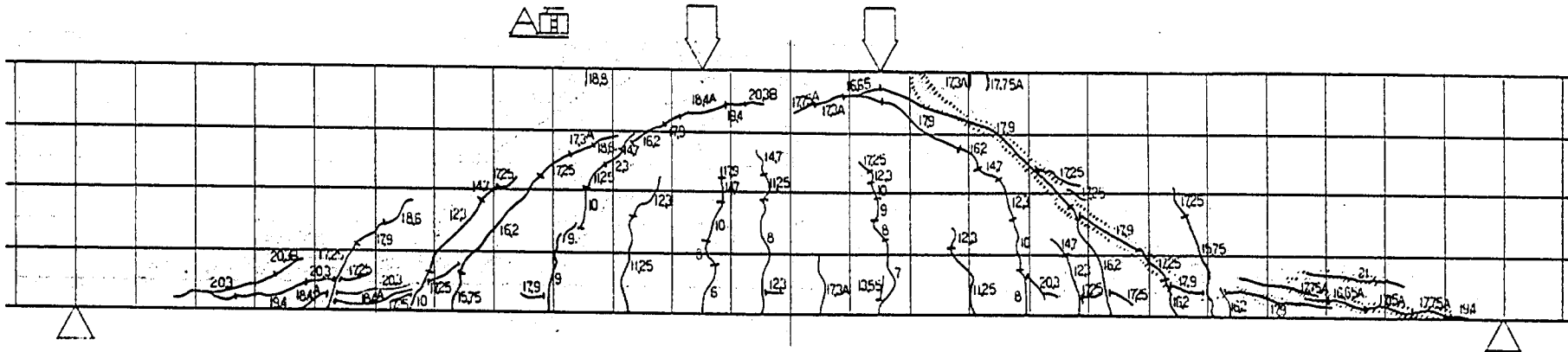
スラグ碎石 487 kg/cm²

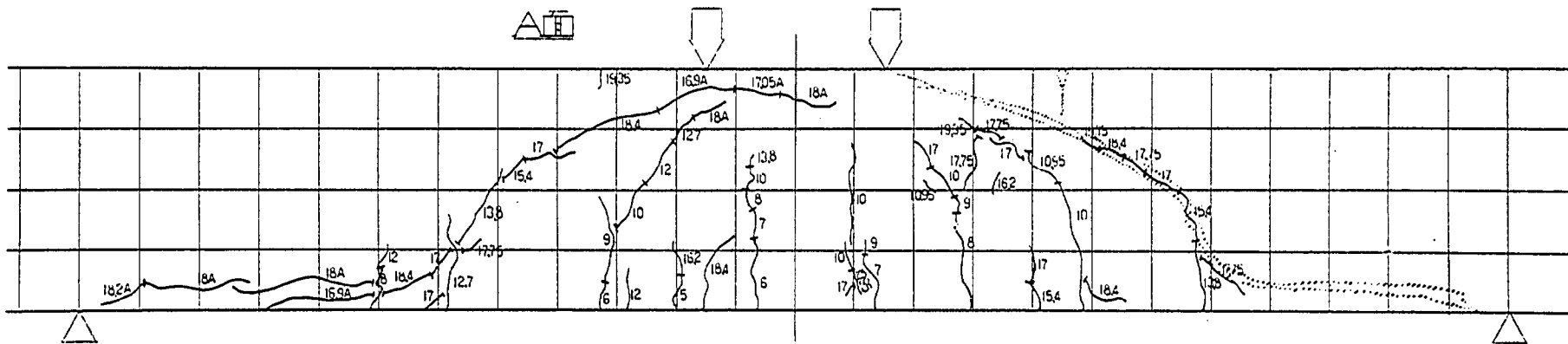
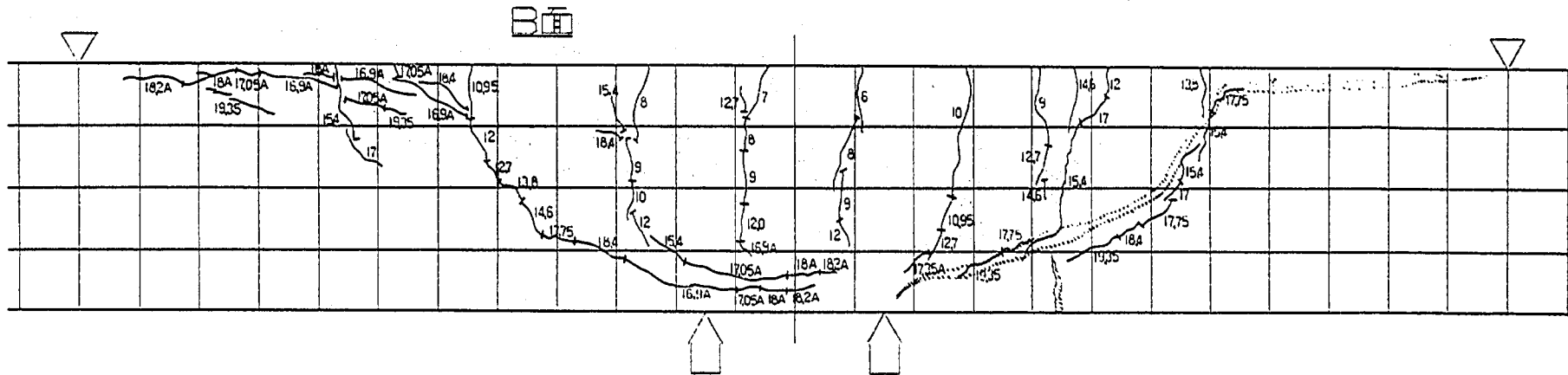
スラグ碎石 487 kg/cm²

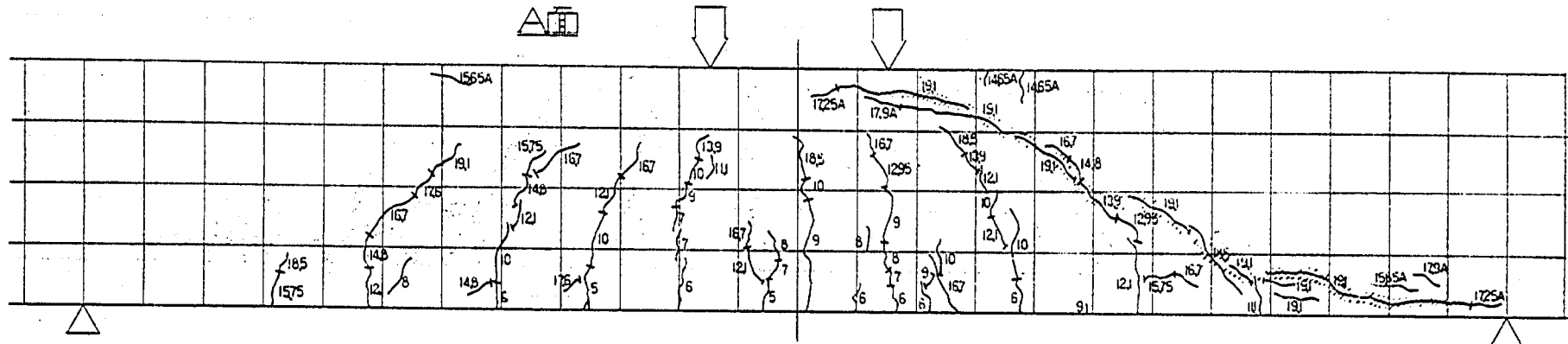
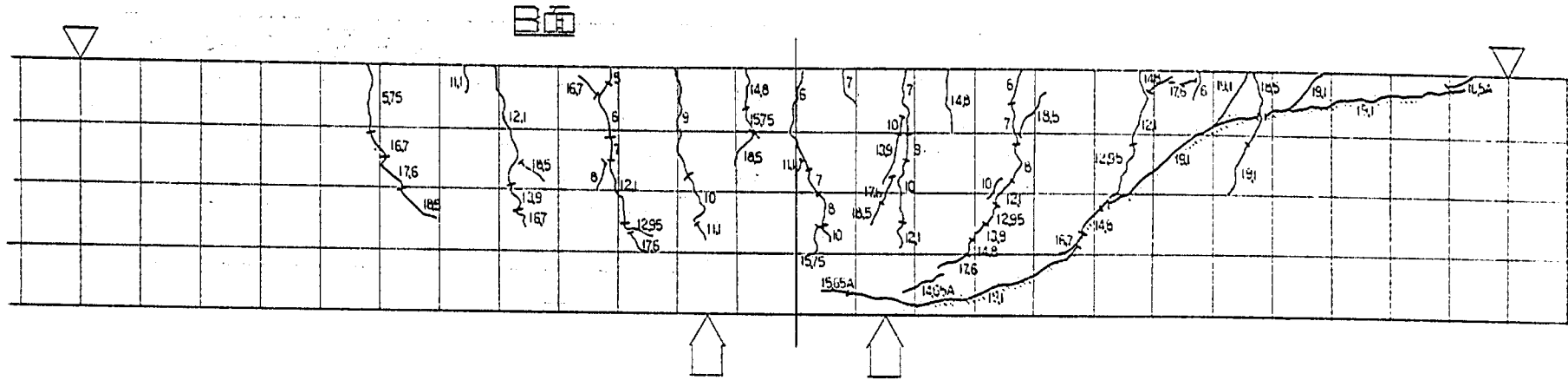
B面



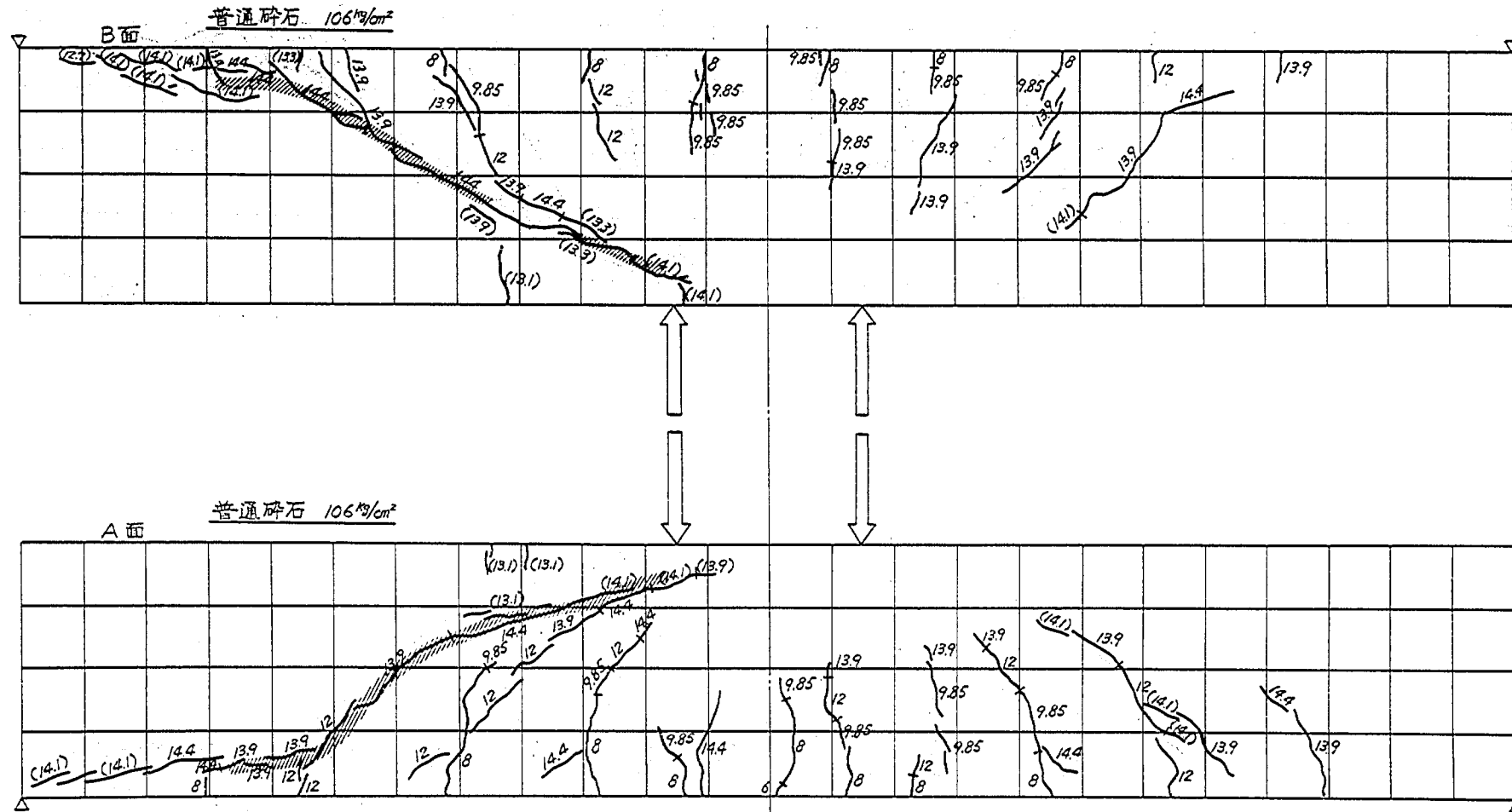
A面



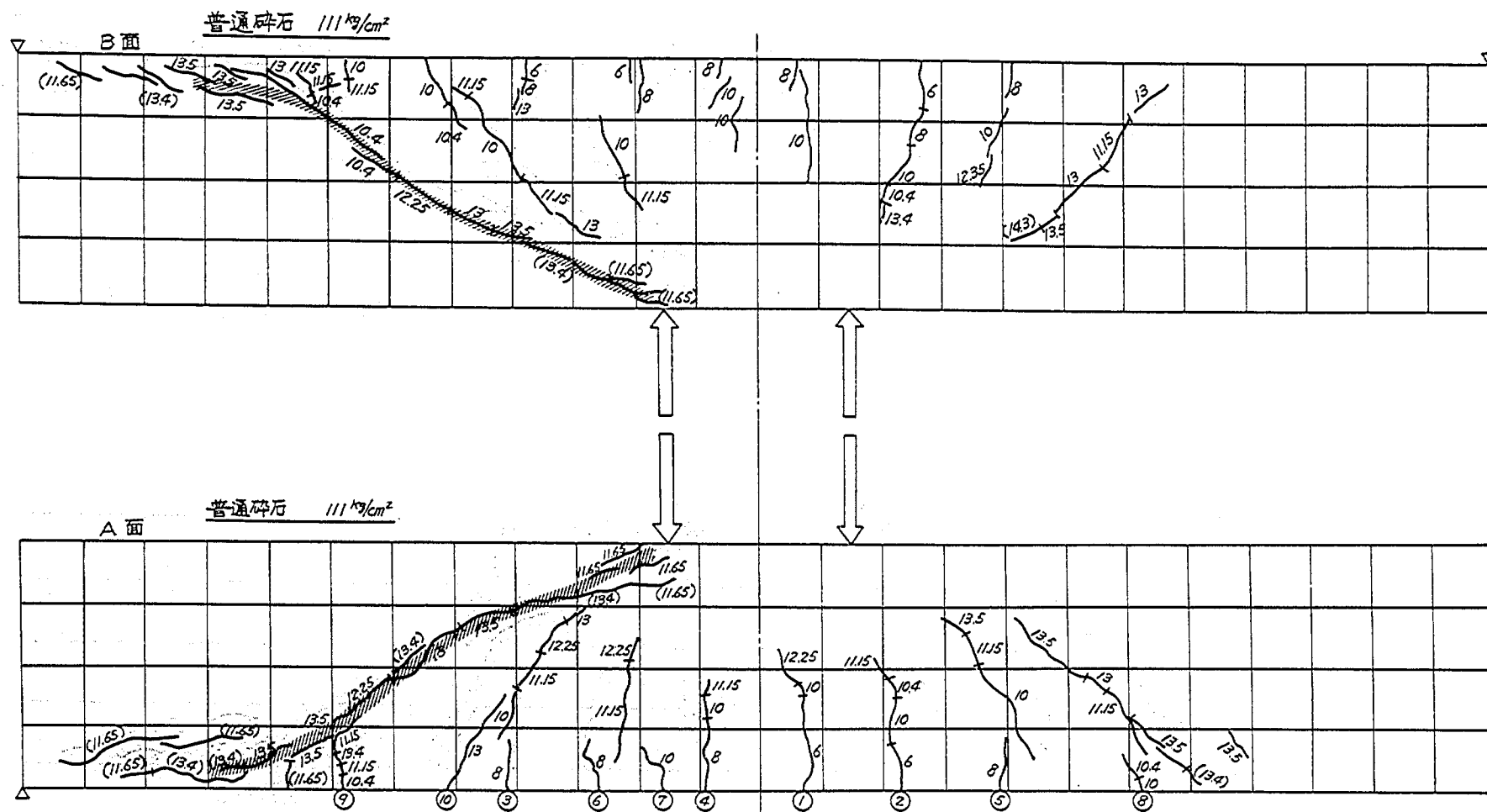
スラグ碎石 536 kg/cm²

スラグ碎石 536 kg/cm²

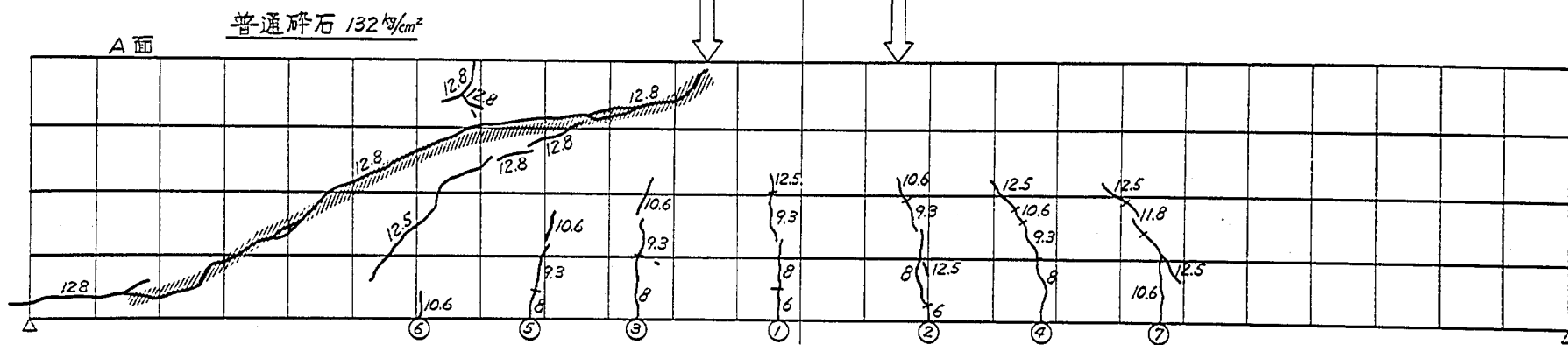
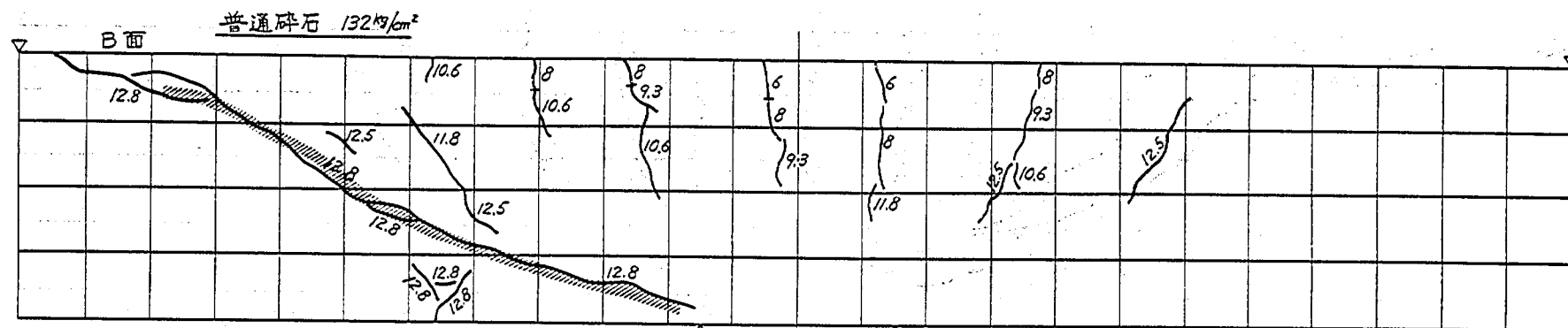
普通碎石 106 kg/cm^2

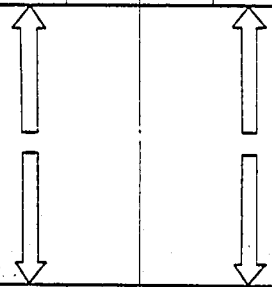


普通碎石 111 kg/cm²

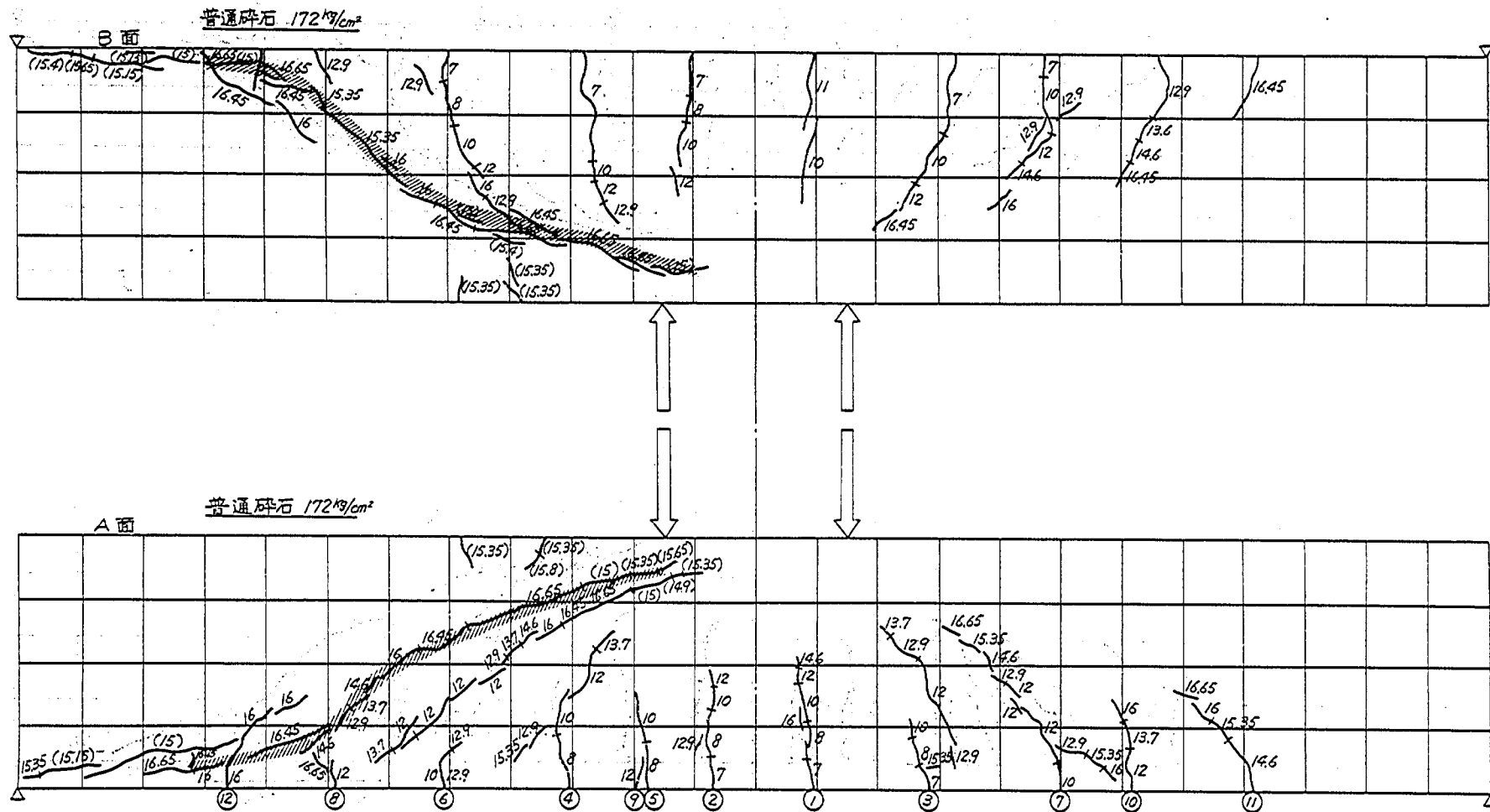


普通碎石 132 kg/cm²

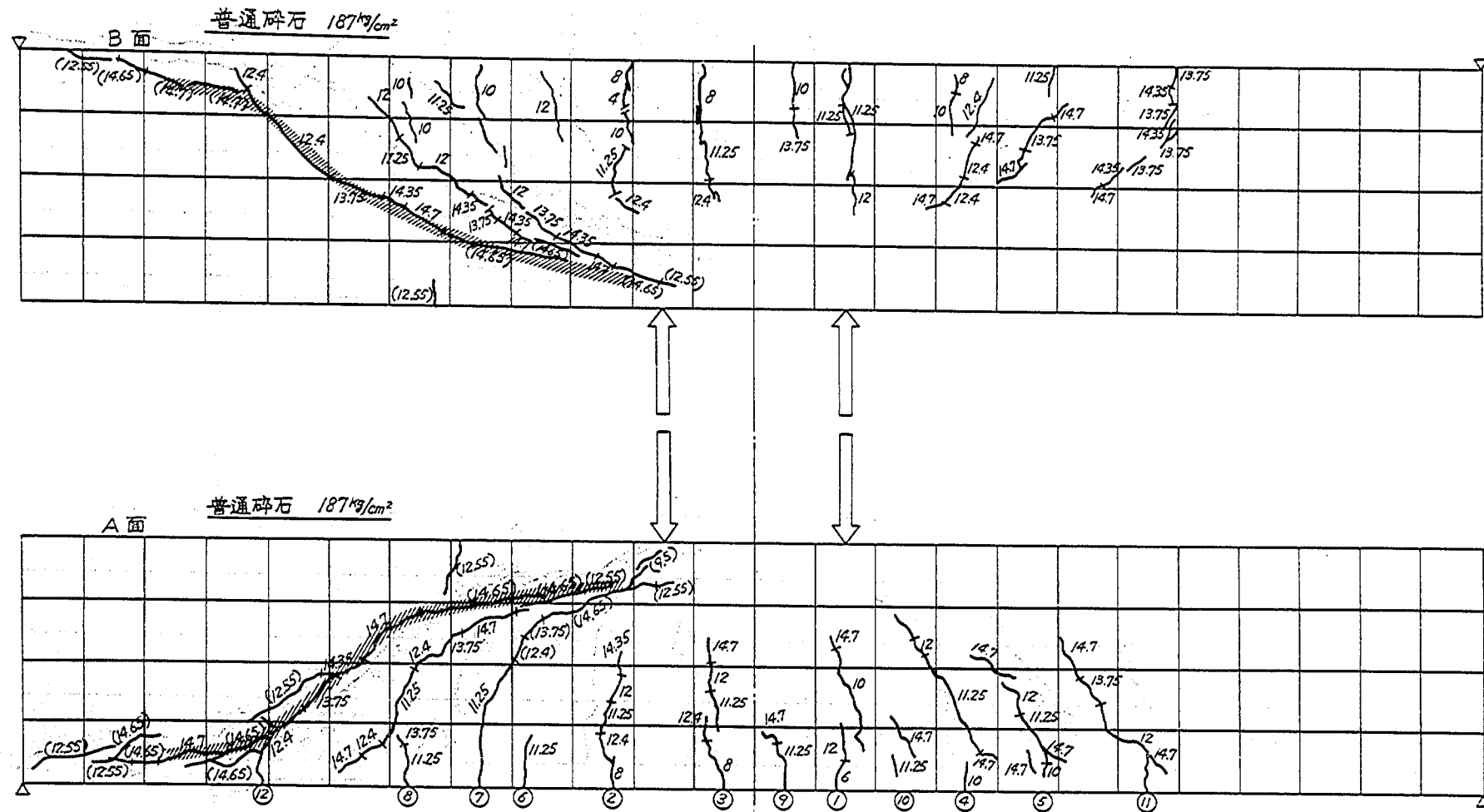


[illegible]

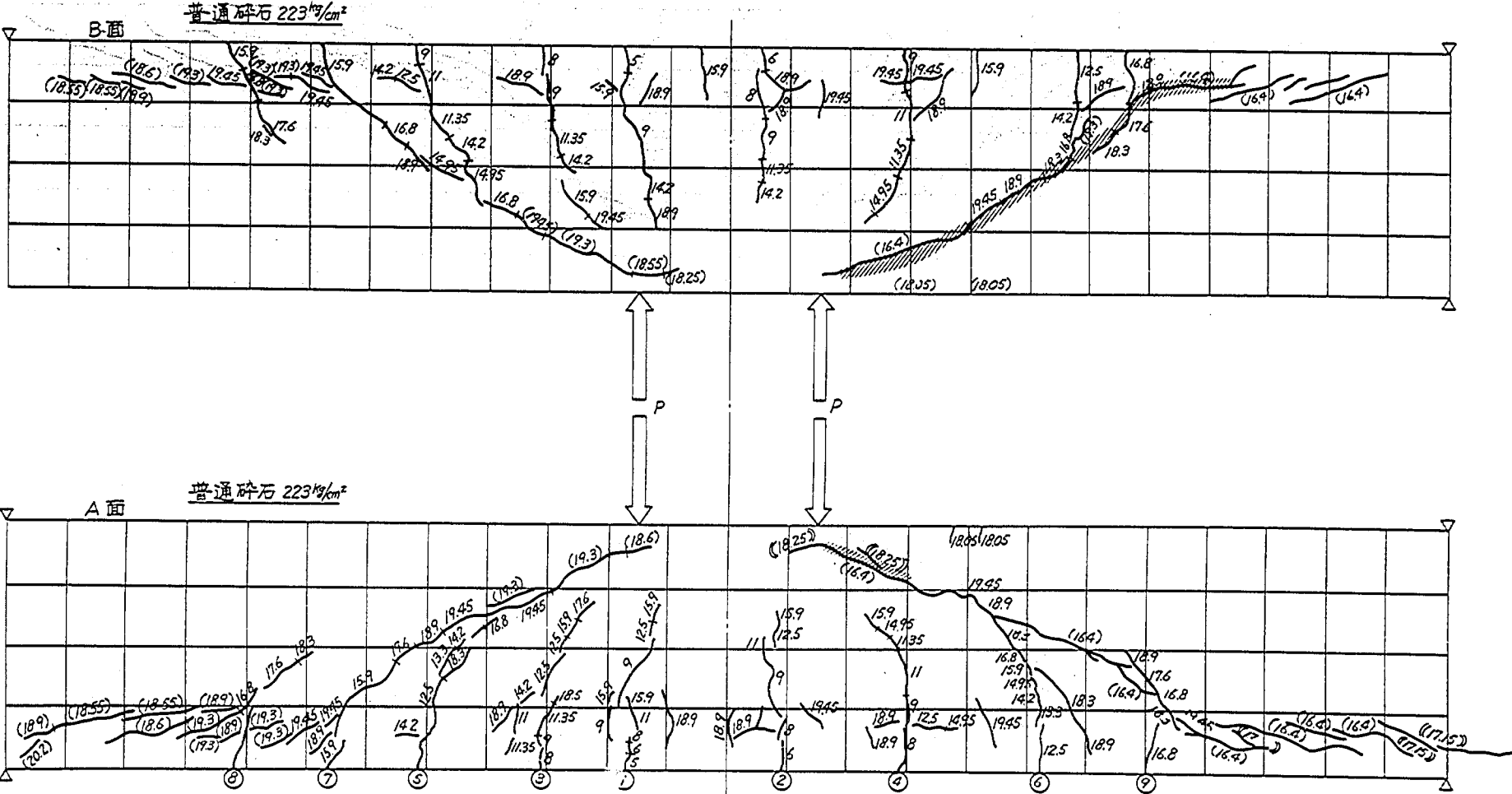
普通碎石 172 kg/cm²



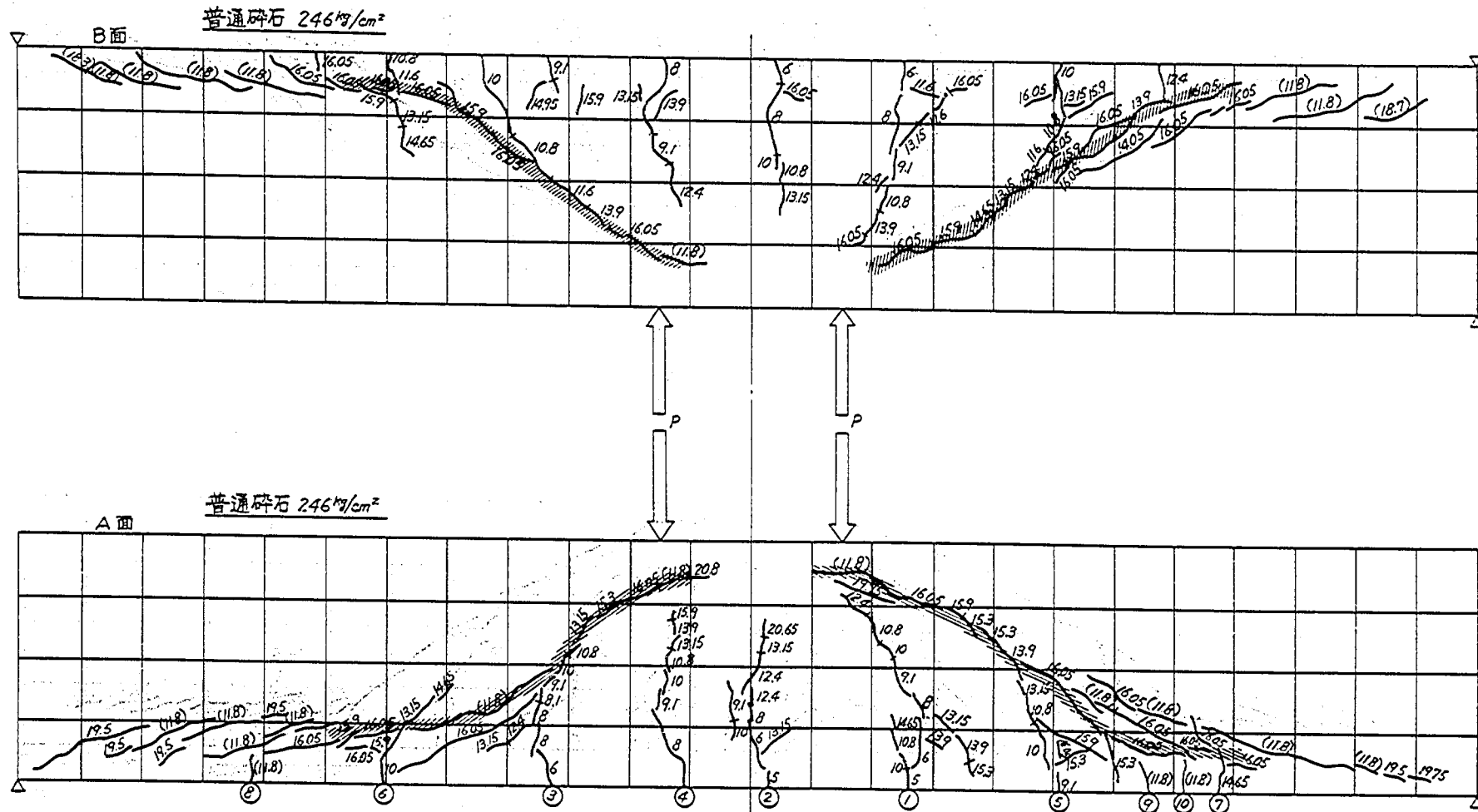
普通碎石 187 kg/cm^2



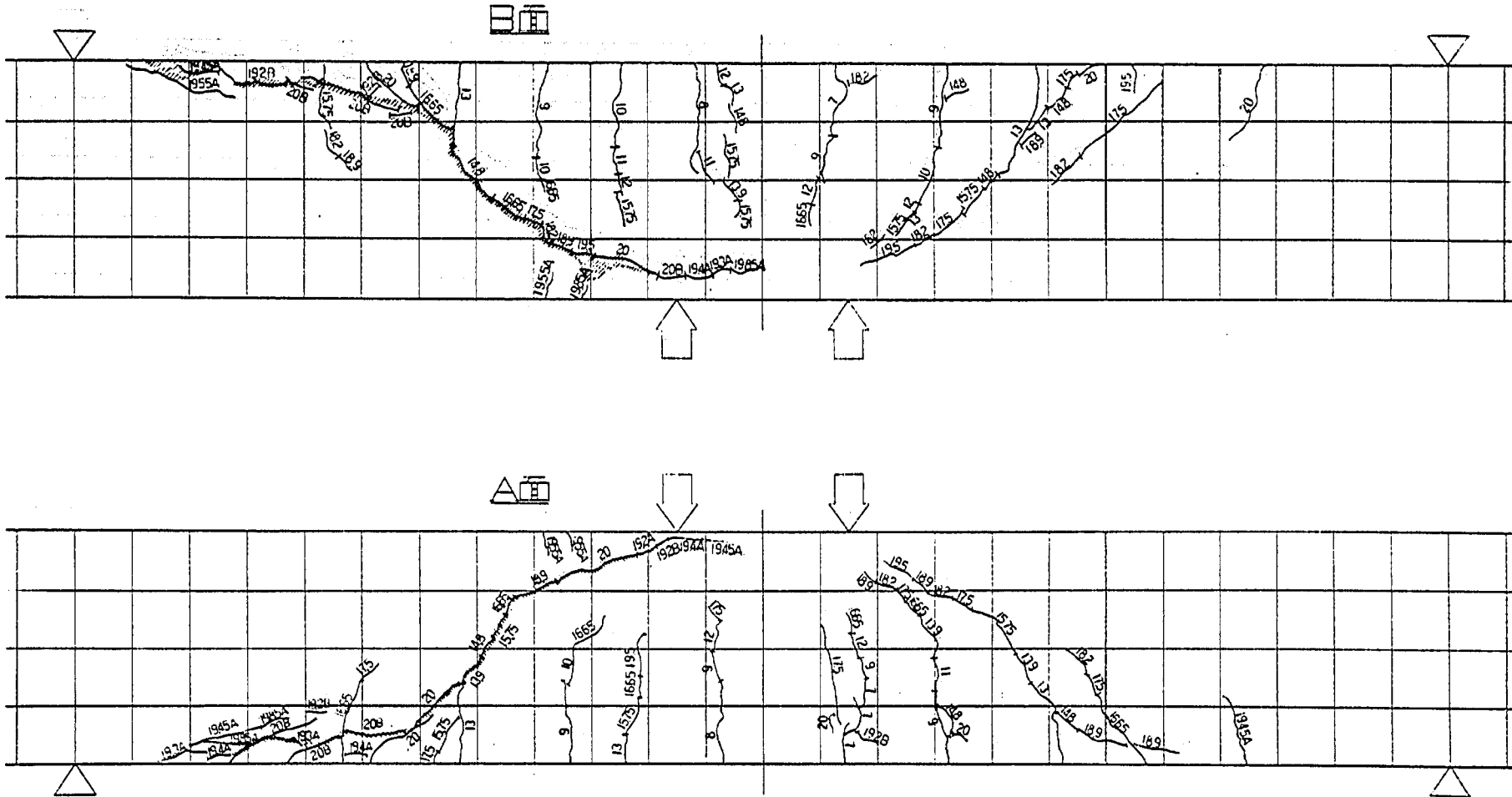
普通碎石 223 kg/cm²



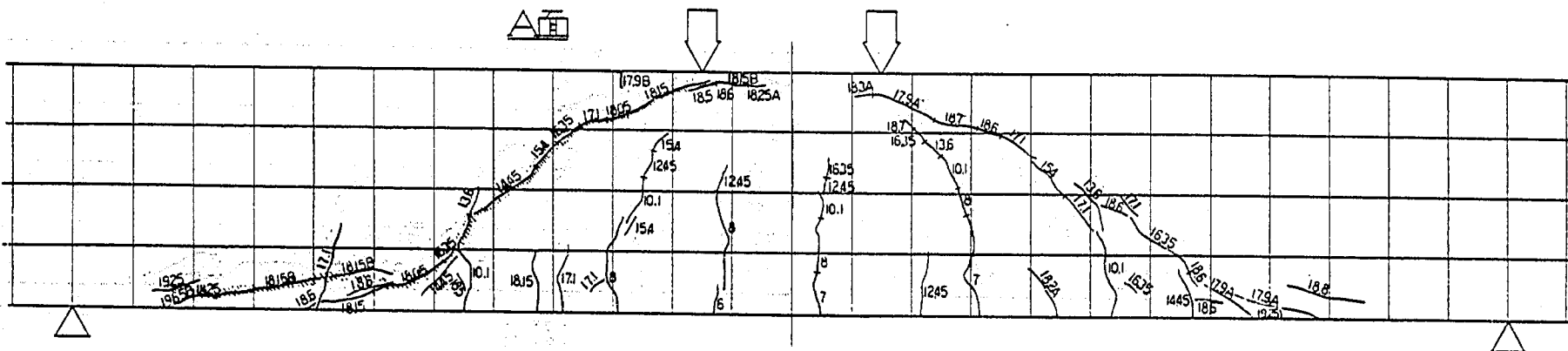
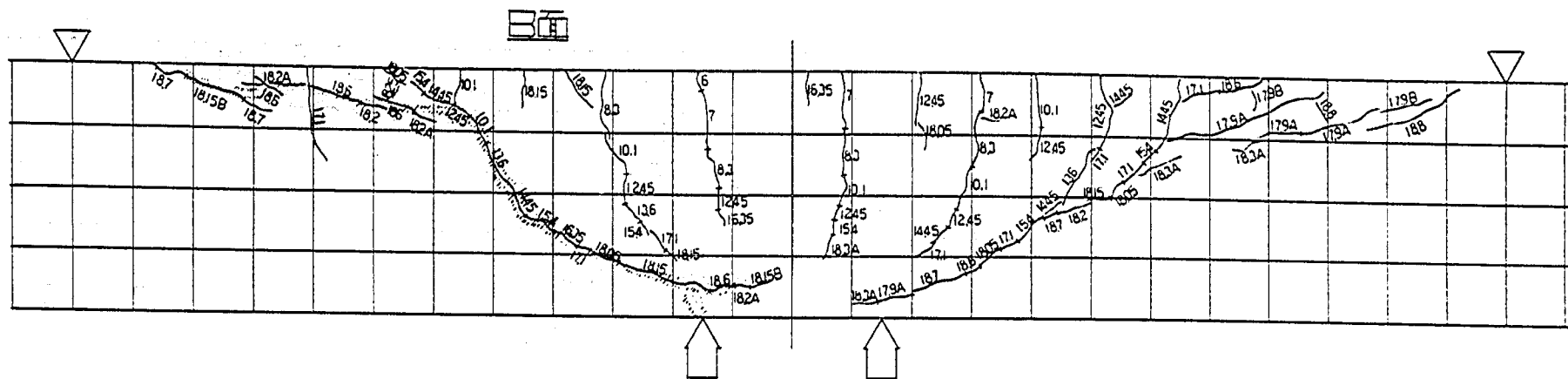
普通碎石 246 kg/cm²



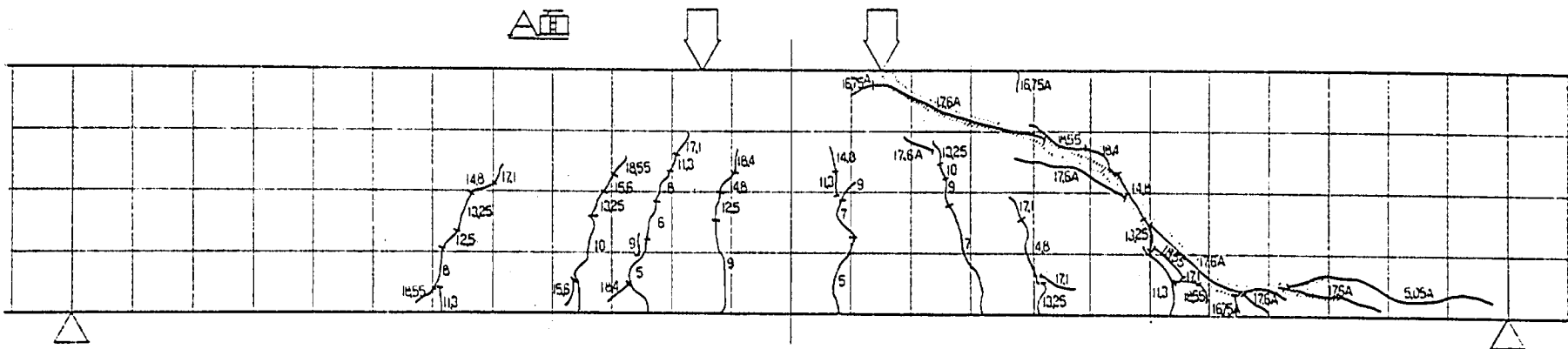
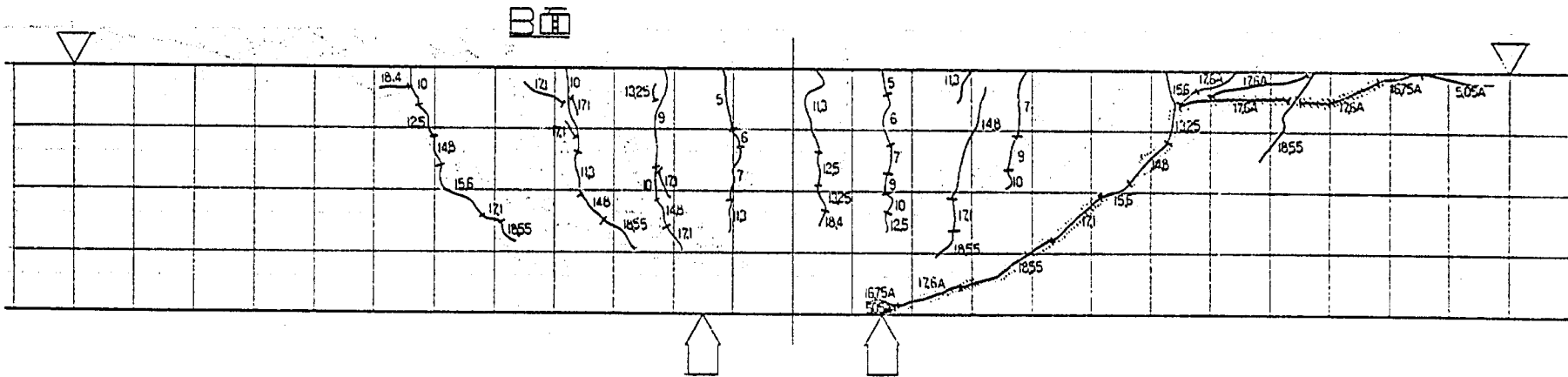
普通碎石 356 kg/cm²



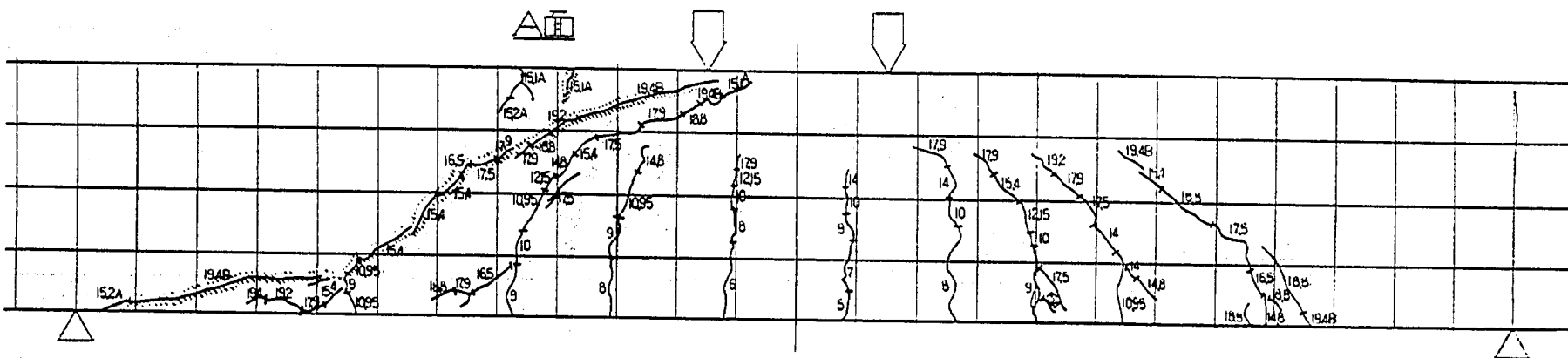
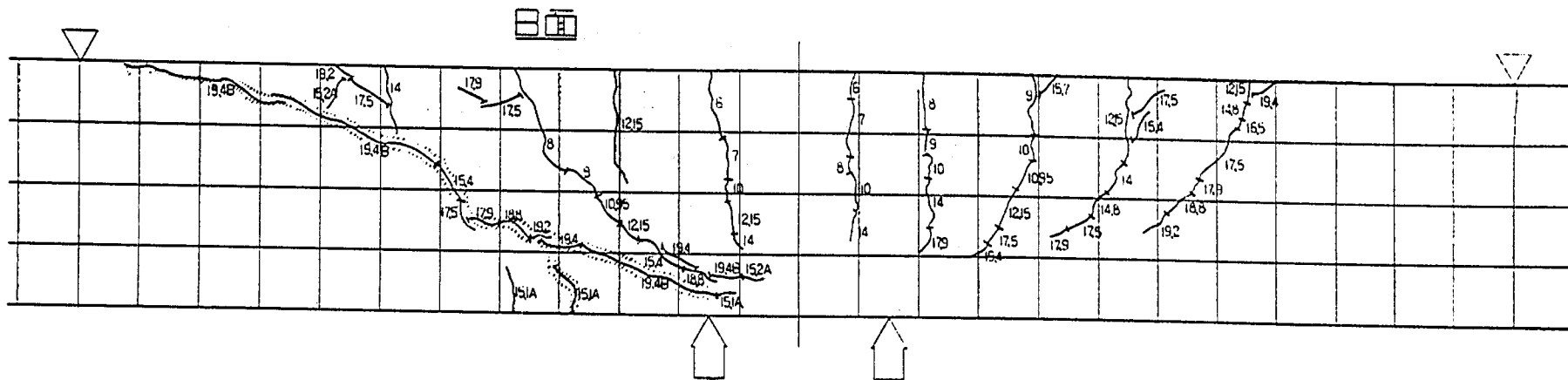
普通碎石 356 kg/cm²



普通碎石 435 kg/cm²

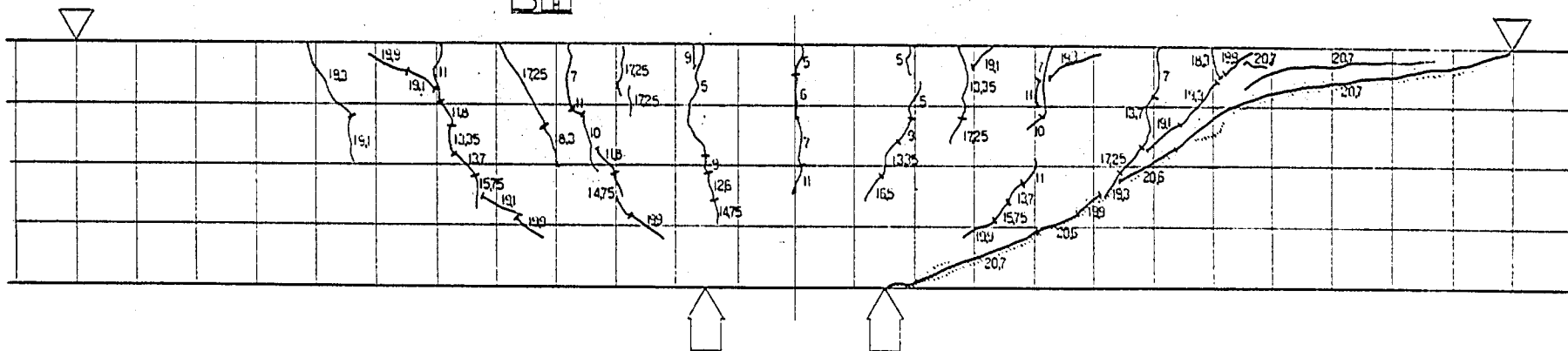


普通碎石 435 kg/cm²

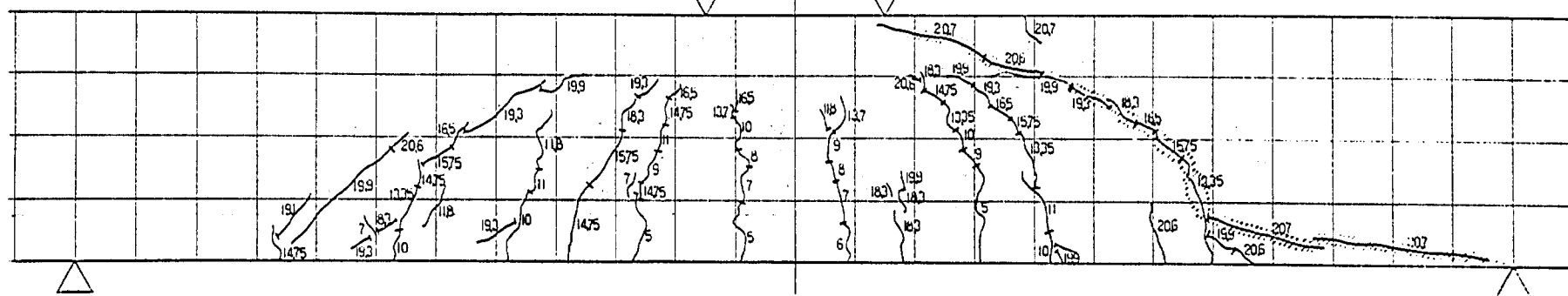


普通碎石 487 kg/cm²

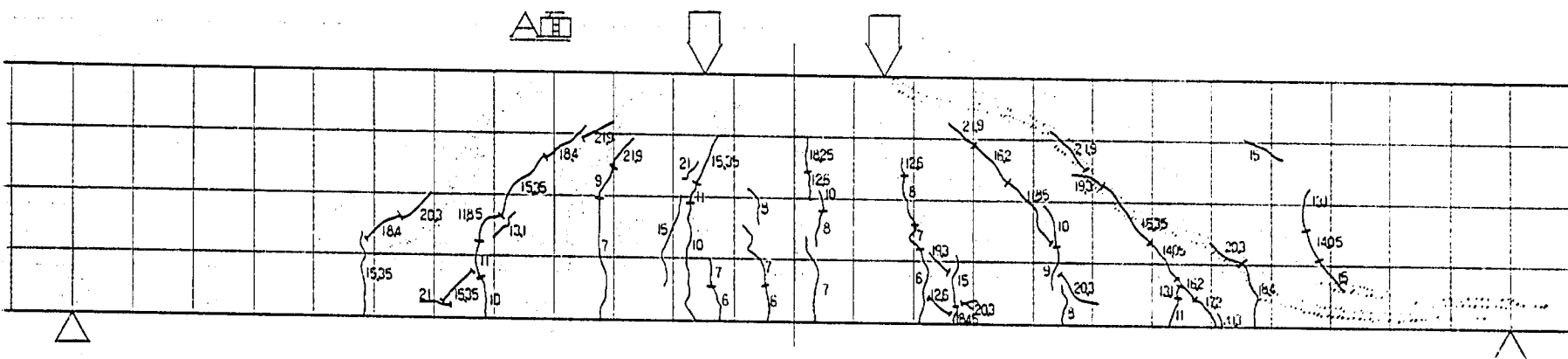
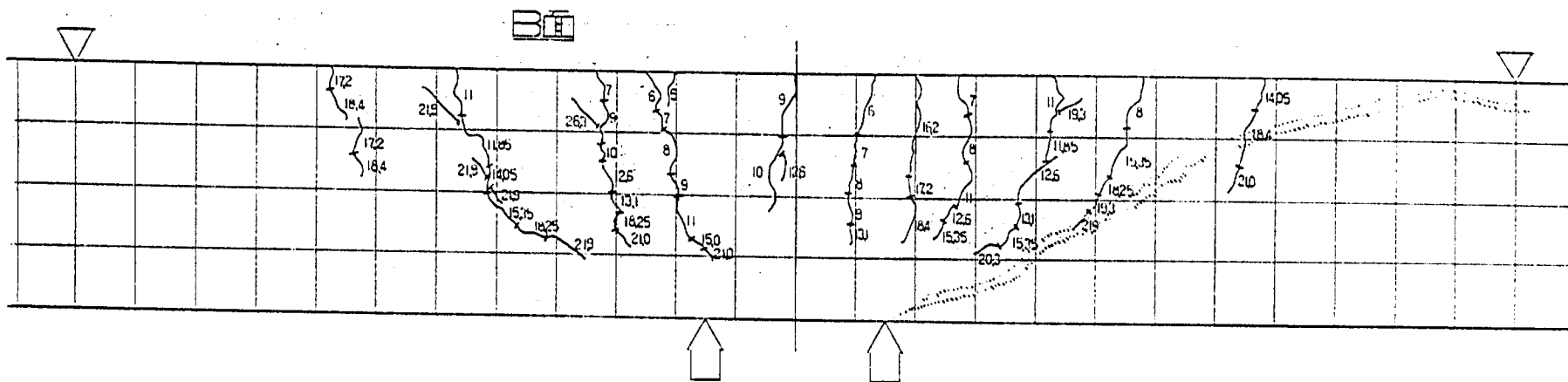
B面



A面



普通碎石 487 kg/cm²



ISSN 0386-5878
土木研究所資料第1981号
マイクロフィルム第 号
昭和58年3月(1983)

小林茂敏, 森濱和正, 高橋正志

キーワード: 高炉スラグ碎石, コンクリート強度, セン断強度

要旨

鉄鋼生産時に発生する高炉スラグ碎石を用いたコンクリートについて試験を行い, その結果高炉スラグ碎石コンクリートは, 骨材でこわれ易く, 普通碎石コンクリートに比べ, 引張強度は小さく, セン断強度もやや異なった特性を有していることが明らかになった。



郵便はがき

は40
い。門
って切
て下手
下さ

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
茨城県筑波郡
豊里町大字旭一番地
研究室 御中

No. _____

No. _____

土研資料第1981号

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1981号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

