© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

NÅGOT OM TUNNELDRIVNINGS- OCH SPRÄNGNINGSTEKNIK I JAPAN 1992

Finn Ouchterlony, Stiftelsen Svensk Detonikforskning (SveDeFo), Stockholm

Sammanfattning

Undertecknad har forskat och undervisat 1 år inom bergsprängning och bergbrottmekanik vid institutionen för väg- och vattenbyggnadsteknik vid Yamaguchiuniversitetet i Ube i Japan under 1991-92.

Förutom denna verksamhet besöktes några tunneldrivningsprojekt. Japan är ett bergigt och tätt befolkat land med mycket hög aktivitet på infrastrukturbyggandet och det byggs ca 250 km tunnel varje år. Föredraget beskriver kort ett par tunnelprojekt och något om japansk tunneldrivnings- och bergsprängningsteknik samt ett par seminarier som presenterade svensk bergsprängningsteknik för japansk entreprenadindustri.

1. Något om Japan

Japan är ett bergigt och tätbebyggt land. Ytan är ca 380000 km^2 vilket är ca 15% mindre än Sveriges. Av denna utgör hela 73% berg som oftast är avsevärt högre och brantare än de svenska. Det högsta japanska berget, Fuji-san, är 3776 m och många andra toppar överstiger 3000 m.

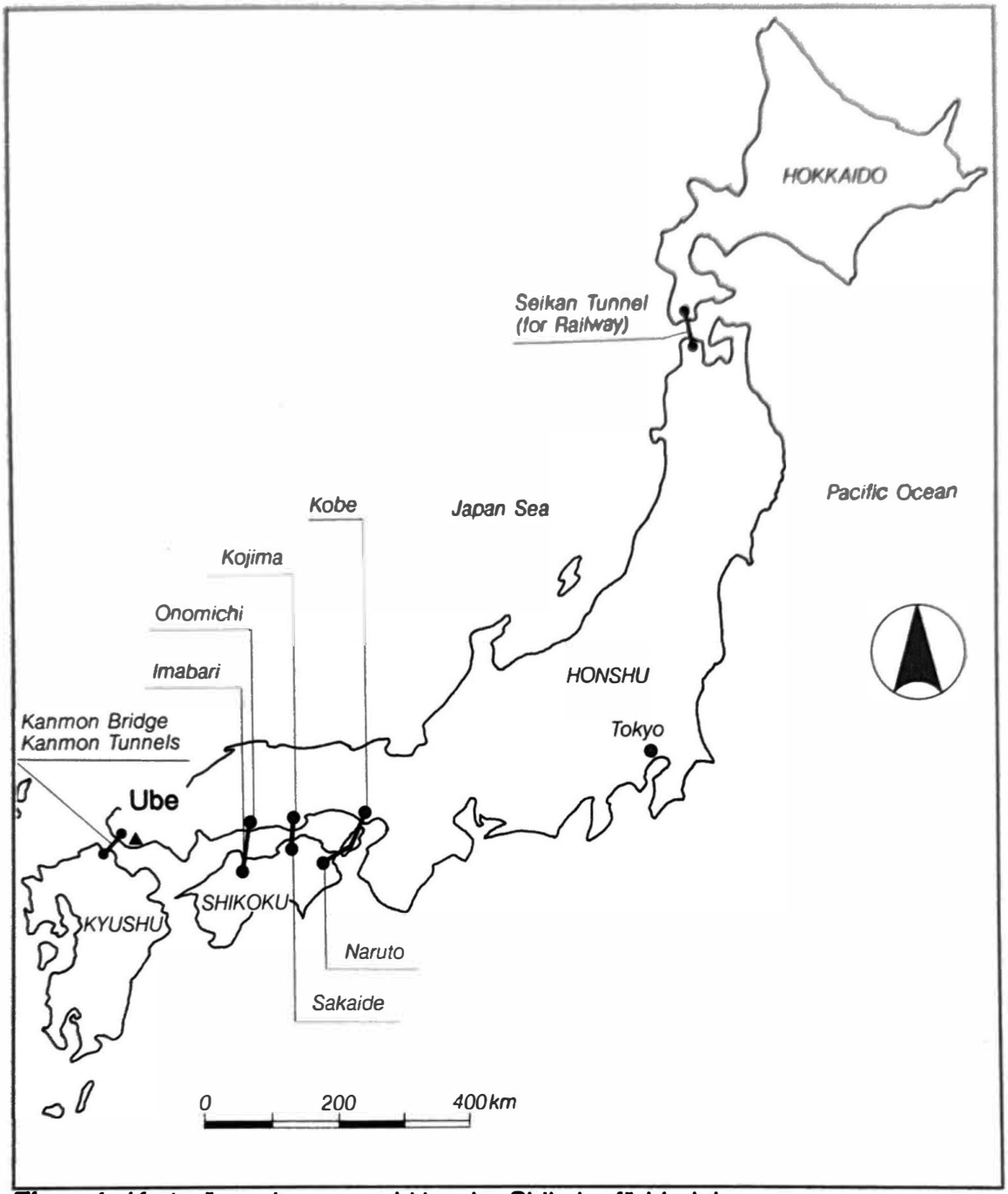
Japan är ca 220 mil från nordspets till sydspets och ligger mellan 32 och 45 breddgraden. Det består av en huvudö, Honshu, och tre mindre öar, Kyushu, Shikoku och Hokkaido. Se figur 1. I söder är klimatet subtropiskt och i norr tempererat. Nederbörden i Tokyo är 1500 mm/år, på andra ställen betydligt mer.

Befolkningen är ca 124 miljoner människor, dvs ca 330 personer/km^2. Eftersom så stor del av ytan är obebyggbar är den verkliga befolkningstätheten oftast avsevärt större. Befolkningen är koncentrerad i ett antal storstadscentra, det störst är Tokyoområdet med ca 28 miljoner innevånare. Andra kända är Osaka, Kobe, Kyoto, Nagoya etc. Utanför dessa finns stora glesbygdsområden.

2. Yamaguchiuniversitetet och Department of Civil Engineering

Yamaguchiuniversitetet grundades 1949 som ett statligt universitet med flera olika fakulteter. Det har ca 1900 anställda varav 260 professorer. Den tekniska fakulteten ligger i Ube, en liten industristad med 170000 innevånare.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 1: Karta över Japan med Honshu-Shikoku förbindelserna.

År 1990 organiserades den tekniska fakulteten om och den har nu 6 storinstitutioner med 69 professorer. Antalet förstaårstudenter är 620 st. Läsåret börjar den 1 april med terminsskifte den 1 oktober.

Department of civil engineering, dvs. väg- och vattenbyggnadsteknik, är en sammanslagning av den gamla institutionen med samma namn och den för gruvteknik. Antalet professorer är 11 st, liksom antalet forskningsområden. Dessa är

1. Planerings- och miljöteknik
   - regional miljöteknik

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

- ekologisk stadsbyggnadsteknik
- utveckling och planering av stadsbyggandet
- utveckling och planering av regioner

2. Konstruktionsteknik
   - strukturanalys
   - beräkningsteknik för strukturer
   - byggnadskonstruktionsteknik

3. Grundläggande väg- och vattenbyggnadsteknik
   - vattenbyggnadsteknik
   - geoteknik
   - konstruktionsmaterial
   - resurs- och energiteknik

Ämnesområdena jord- och bergmekanik, bergteknik och jorddynamik hör hemma under konstruktionstekniken. Det finns 3 professorer, 3 biträdande professorer och 2 forskningsassistenter som helt eller delvis forskar inom området bergsprängningsteknik - bergmekanik. Denna grupp är en av de livaktigare bergforskningsgrupperna vid de japanska universiteten [1].

Professor Koji Nakagawa vid institutionen stod för min inbjudan. Jag höll kurser för studenterna i bergbrottmekanik och elasticitetsteori, i stället för bergsprängningsteknik, samt deltog i ett par forskningsprojekt inom bergsprängningsteknik och bergmekanik. Mina erfarenheter från året i Japan är mycket goda. Trots japanernas ofta mycket dåliga engelska så har samarbetet fungerat utmärkt.

3. Något om japanskt tunnelbyggande

Japan Tunnelling Association gjort en sammanställning japanska tunneldrivningsaktiviteter 1992 [2]. Enligt denna var volymen $2.5 \cdot 10^{12}$ yen eller ca 135 miljarder SEK i 1993 års penningvärde. Den totala längden tunnel lär ligga på ca 250 km per år. Kostnadsvolymen är grovt uppdelad på 4 lika stora delar, järnvägs-, väg-, vatten- (främst avlopp) och övriga tunnlar (kraftverk, energiöverföring och underjordsanläggningar). Alla områdena visar nu en tendens att öka.

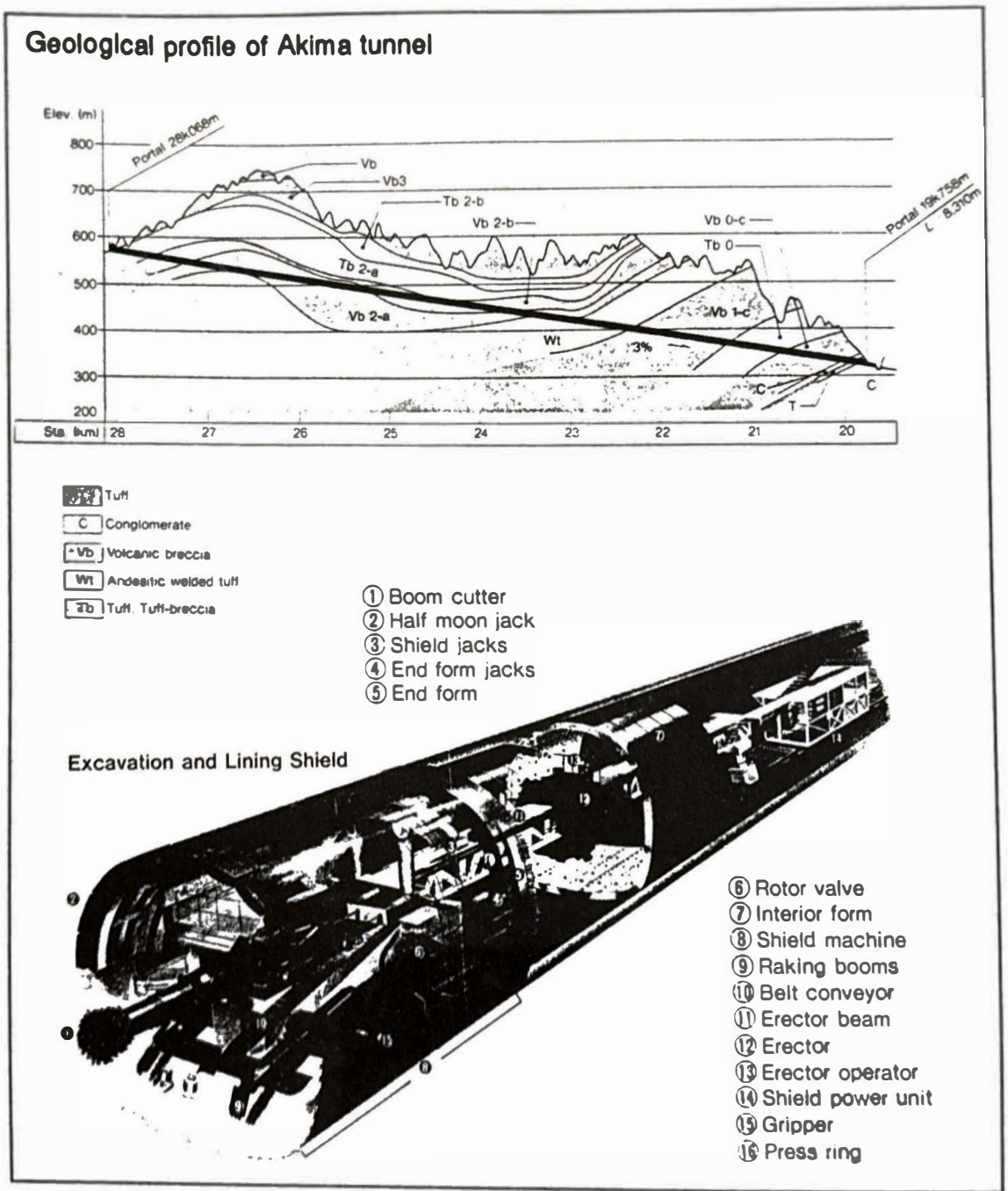
3.1 Tågtunnlar

Japan har sedan 1956 ett nät av höghastighetståglinjer, för s.k. Shinkansen eller bullet trains, som fortfarande är under utbyggnad. Hastigheten är 200-240 km/tim och resan Tokyo-Fukuoka på Kyushu-linjen, som är drygt 100 mil, tar strax över 5 timmar med de snabbaste tågen. Antalet passagerare per år är ca 250 miljoner och antalet personkm 66 miljarder. Dessutom har en ny ännu snabbare linje mellan Tokyo och Osaka, ca 50 mil, nyligen öppnats.

Ett stort problem för japanskt tunnelbyggande är bristen på erfaren arbetskraft. Man utvecklar nu mekaniserade tunneldrivningsmetoder, både för att minska arbetskraftsbehovet och för att minska olyckfallsriskerna.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Akimatunneln är 8,3 km och ingår i den 43 km långa Takasaki-Karuizawadelen av Hokuriku Shinkansenlinjen, varav 60% blir tunnel. Tunneln är ca 10,6 m bred och 9,7 m hög. Berget utgörs av andesit, tuff och vulkaniska breccior. Losshållningen görs med en 250 kW bomfräsmaskin med ett fräshuvud med diametern 1,3 m. Losshållningen sker i skydd av en sköld som pressas fram i takt med bergavverkningen. Se figur 2.



Figur 2: Akimatunneln med bomfräsmaskinen.

Bakom sköldcylindrarna gjuts kontinuerligt en 0,5 m tjock betonginklädnad. På grund av detta så beräknar man att få en framdrift som är 2-3 gånger större än de

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

100 m per månad man skulle få med en konventionell drivningscykel med borrning-sprängning enligt NATM (New Austrian Tunnelling Method). Detta ställer in sin tur stora krav på masstransporterna, fräskax ut och betong in. Man har valt ett system med pneumatiskt drivna kapslar. Kapslarna har lastkapaciteten 1,1 m^3 och kopplas tre och tre. De drivs med en medelhastighet om 7 m/s i ett fyrkantrör med 0,9 m sida till tippen 3 km från tunnelpåslaget. Tågintervallen är mindre än 2 minuter.

Denna losshållningsmetod och detta transportsystem provas för första gången i Akimatunneln.

Samtidigt med utbyggnaden av befintliga Shinkansenlinjer pågår FoU-arbete för att utveckla höghastighetståg som bygger på magnetsvävning och magnetdrift. Arbetet påbörjades 1962 och sedan 1977 pågår försök vid en 7 km lång teststräcka utanför Miyazaki. År 1990 beslöt man att starta ett nytt projekt med följande tre huvudmål:

att nå en högsta drifthastighet om 500 km/tim, 550 km/tim på provsträckan,
att nå en högsta transportkapacitet av 10000 passagerare/ i en riktning och
att påvisa tågsystemets lönsamhet.

Projektet löper på 8 år och en längre provsträcka skall vara klar 1994.

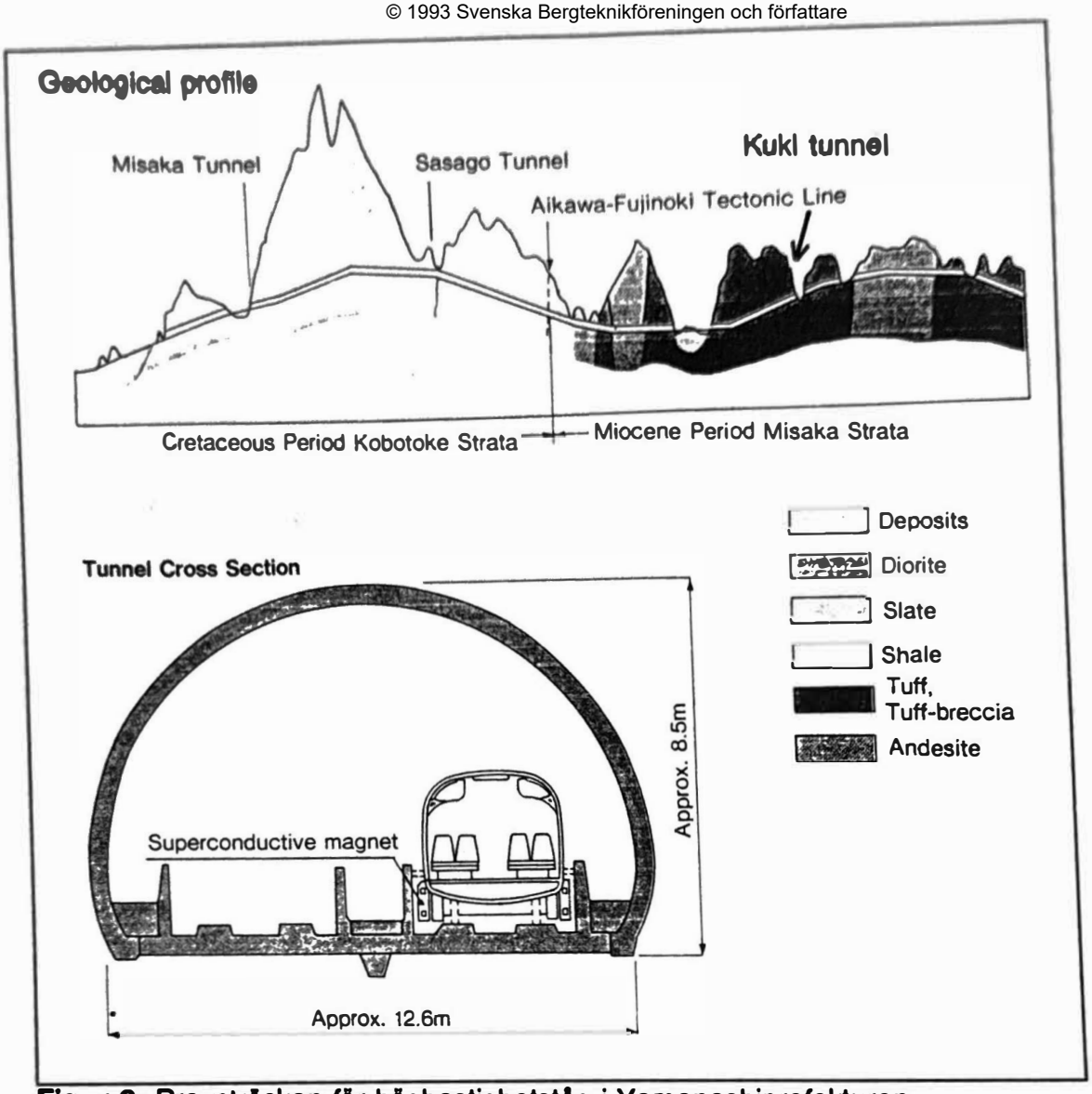
Provsträckan ligger i centrala Yamanashiprefekturen, väster om Tokyo på den planerade sträckningen Tokyo-Osaka. Den är 42,8 km lång varav 35 km går i tunnel. Tunneln är dubbelspårig med ungefärliga dimensioner 12,6·8,5 m, en minsta krökningsradie om 8 km och en största stigning om 4%. Den korsar en tektonisk gräns med diorit och skiffer med tryckhållfastheten 110-140 MPa på den ena sidan och miocena tuffer och andesiter med tryckhållfastheten 30-90 MPa på den andra. Ocementerade kvartära lager finns också. Se figur 3.

Drivningen av provsträckan är uppdelad i ett antal kontrakt med olika entreprenörer. Jag besökte en delsträcka i tuff, Kukitunneln, vars östra halva drevs av Sato Kogyo Co med konventionell borrning-sprängning enligt NATM. Denna entreprenad omfattar 1670 m tunnel om ca 90 m^2 med ca 0,5 m betonginklädnad, eller totalt 153000 m^3 berg. Vid besöket den 1 augusti hade man hunnit halvvägs.

Drivningen skedde med en 3-boms jumbo med två arbetsplattformar. Man borrade 1,5 m djupa salvor med Ø 45 mm borrstål. Tunneln drevs som ett galleri om ungefär 70 m^2 med en släpande 1,6 m hög horisontalborrad s.k. mikropall. Salvan omfattade totalt ca 120 hål och galleriet öppnades med en plogkil. I början hade man använt patronerade sprängämnen och elektriska sprängkapslar men sedan 1 juli hade man börjat införa ANFO och Nonelupptändning.

Förstärkningen bestod av sprutbetong och bultning efter varje salva samt permanentförstärkning med stålbågar (vid behov) och betonginklädnad. Berget hade bedömts tillhöra NATM klasserna C1 och C2. Totalt beräknades förstärkningsbehovet till 2800 m^3 sprutbetong, 8500 st 3 m långa Ø 25 mm bultar, 90 H-125 stålbågar och 11600 m^3 betong till inklädnaden.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 3: Provsträckan för höghastighetståg i Yamanashiprefekturen.

Man arbetade 2-skift, 2·10 timmar, och hann med 3-4 drivningscykler per dag. Borrning och laddning uppgavs ta ca 2,5 timmar. Tunneln verkade relativt torr vid besökstillfället men i början av september fick man problem med stora vattenläckage vid fronten.

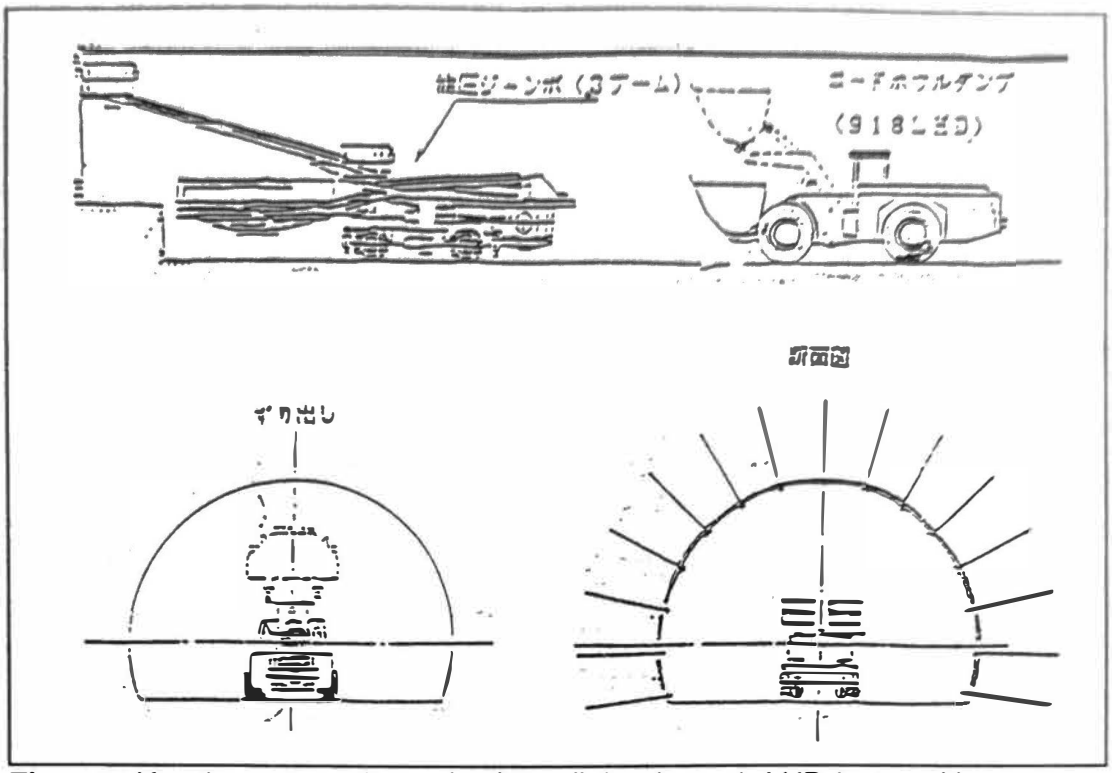
3.2 Motorvägstunnlar

I mitten av januari besökte jag några motorvägstunnlar på en 30 km lång utbyggnad av Sanyo express way. De låg i Okayamaprefekturen ca 75 mil väster om Tokyo och 30 mil öster om Honshuöns västra spets. Ett antal tunnlar var under byggnad. En av dem jag besökte drevs av Sato Kogyo Co, det var den 1080 m långa östra delen av en dubbeltunnel genom berget Kasaiyama, alldeles norr om själva staden Okayama. Vid besökstillfället hade man kommit ca 320 m med fronten och 220 m med betonginklädnaden.

Varje tunnel hade svag hästskoform och dimensionerna 11,2·7,7 m eller en area

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

av ca 70 m². Drivningen gick under relativt torra förhållanden i skiffer och hornfels med P-vågshastigheter om 3600-6400 m/s. Bergkvalitén varierade mellan NATM-klasserna B1 till D3a. Liksom i Kukitunneln skedde drivningen med ett galleri och släpande 2,2 m hög mikropall. Se figur 4.



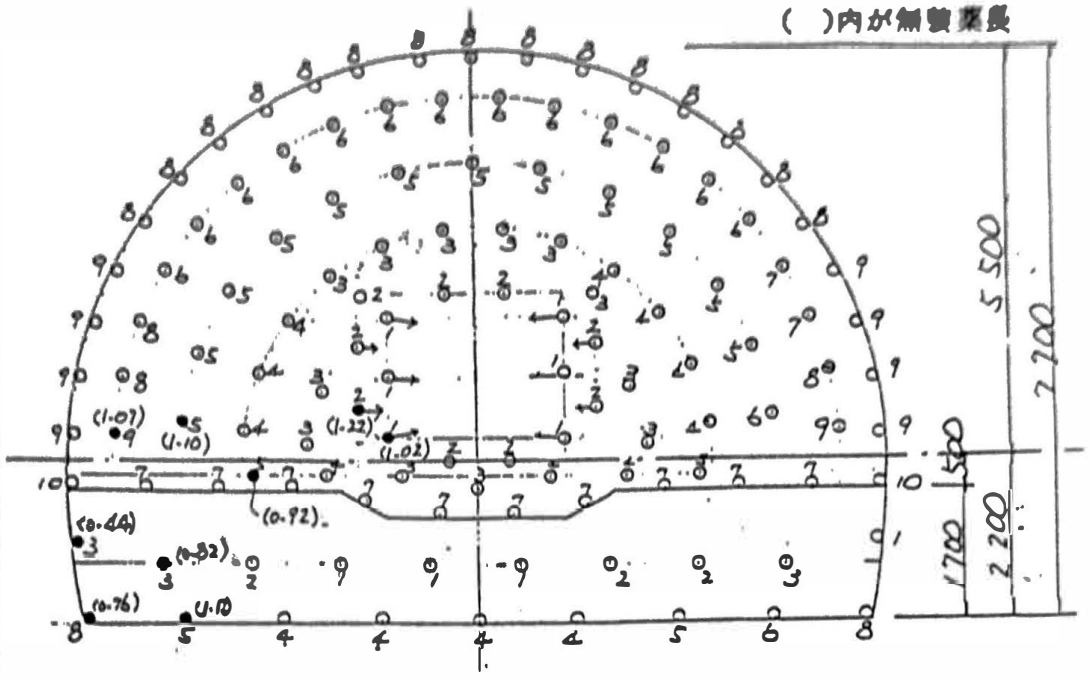
Figur 4: Kasaiyamatunneln med mikropall, borrigg och LHD-lastmaskin.

En normal driftsalva bestod av ca 130 st 2,5 m djupa Ø 42 mm borrhål. Se planen i figur 5. Produktionshålen laddades med 4-6 st frikopplade Ø 30 mm patroner med 200 g Chitamite emulsionssprängämne. I botten användes 1 st 200 g 2nd Enoki dynamitpatron som primer och upptändningen gjordes med elsprängkapslar i DS-serien som har fördröjningstiden 250 ms mellan två intervallnummer. Salvan öppnades med en plogkil med 7-8 st Chitamitepatroner per hål.

Drivningscykeln var uppbyggd på 3 st 8h skift med 1 salva med 2 m indrift per skift. Den ungefärliga tidsfördelningen på de olika arbetsmomenten uppgavs vara borrning 2h, laddning 1,5h, vädring 0,25h, utlastning 2h, bultning 1h och betongsprutning 1h. Utlastningen gjordes med en LHD-maskin med 5,7 m^3 skopa som lastade bergmassorna i 15 m^3 containers för vidare uttransport.

Syftet med besöket var att diskutera fortsättningen av en försöksserie där svensk och japansk tunnelsprängningsteknik jämfördes. Med japansk teknik menas i detta fall en plogkil, koncentriska strossrader och slätsprängning av konturen bara ibland. Vidare används relativt många hål, konstant laddningskoncentration längs hålet och decisekundupptändning (DS-serien). Med svensk teknik menas en parallellhålskil, rektangulära sido- och takstrossrader, slätsprängning, särskild bottenladdning och millisekundupptändning.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



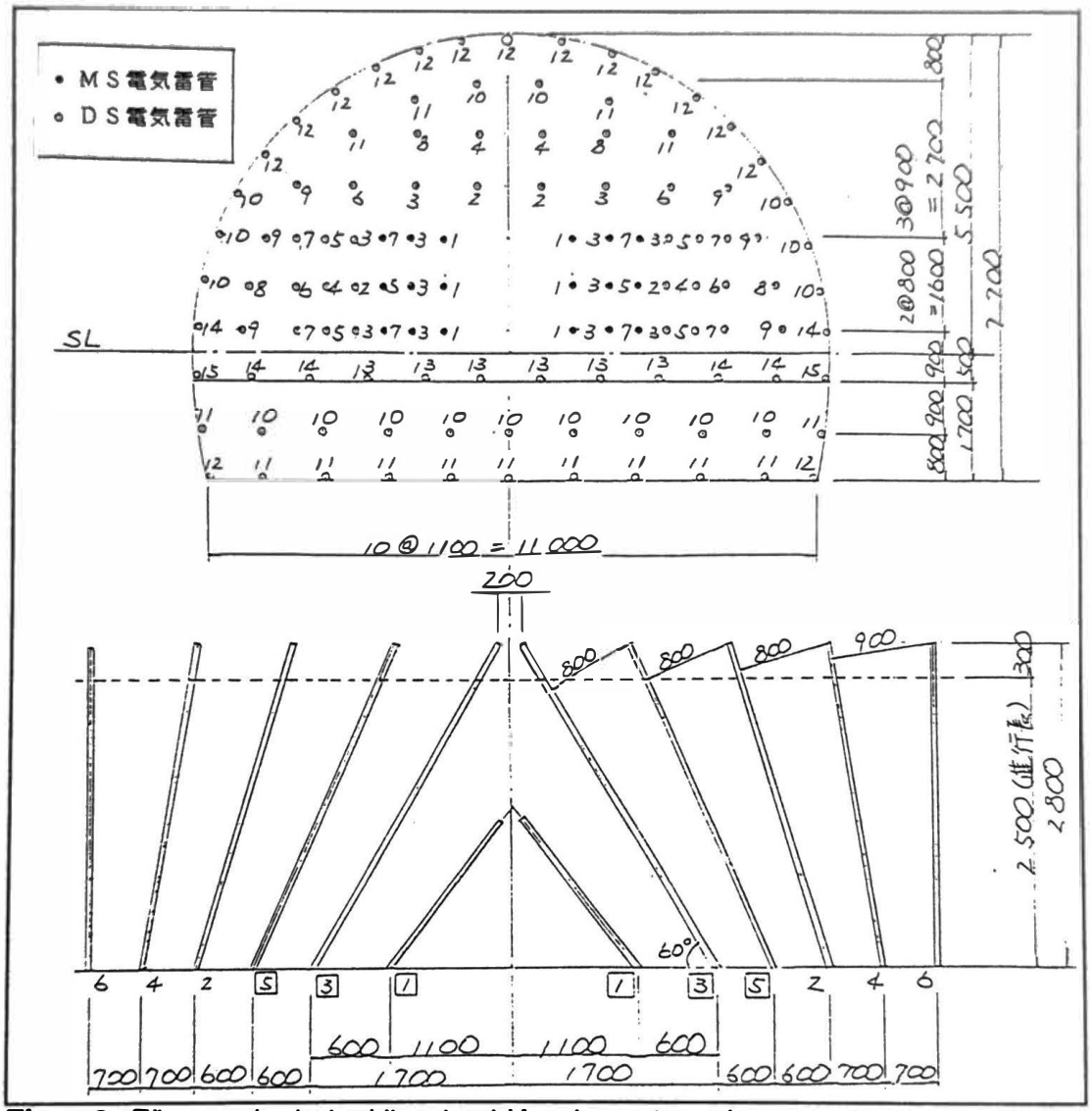
加背	雷管段数	穿孔数	孔当り装薬量（本） 2号炭 φ30*200g	孔当り装薬量（本） ﾅﾘﾏｲﾄ φ30*200g	段当り装薬量（本） 2号炭 φ30*200g	段当り装薬量（本） ﾅﾘﾏｲﾄ φ30*200g
上	DS1	6	7～8		46	
	2	9	1	6	9	54
	3	12	1	6	12	72
	4	10	1	4	10	40
	5	14	1	4	14	56
	6	14	1	3	14	42
	7	12	1	4	12	48
単	8	18	1	4	18	72
	9	10	1	4	10	40
	10	2	1	4	2	8
	小 計	107			147	432
下	DS1	4	1	6	4	24
	2	3	1	6	3	18
	3	3	1	5	3	15
	4	4	1	5	4	20
	5	2	1	5	2	10
	6	1	1	4	1	4
単	8	2	1	5	2	10
	小 計	19			19	101
	合 計	126			166	533

166+533 = 699本
699x0.2 = 139.8kg
70.1x2.0 = 140.2m³
139.8/140.2 = 1.00kg/m³

Figur 8: Normal driftsalva från Kasalyamatunnein med ladd- och tändplan.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I slutet av oktober 1991 hade 6 salvor med traditionell japansk teknik och noggrann uppföljning sprängts som referens för resten av försöken. Medelindriften för dessa var ca 2,0 m och den specifika laddningen ca 1,0 kg/m³. I början av december hade en ny delserie om 12 salvor skjutits. Av dessa hade 4 det svenska strosshålsmönstret med ca 10 hål färre, se figur 6, men var i övrigt japanska. Det borrade djupet var 2,0 eller 2,8 m och indrifterna låg mellan 2,0 till 2,6 m.

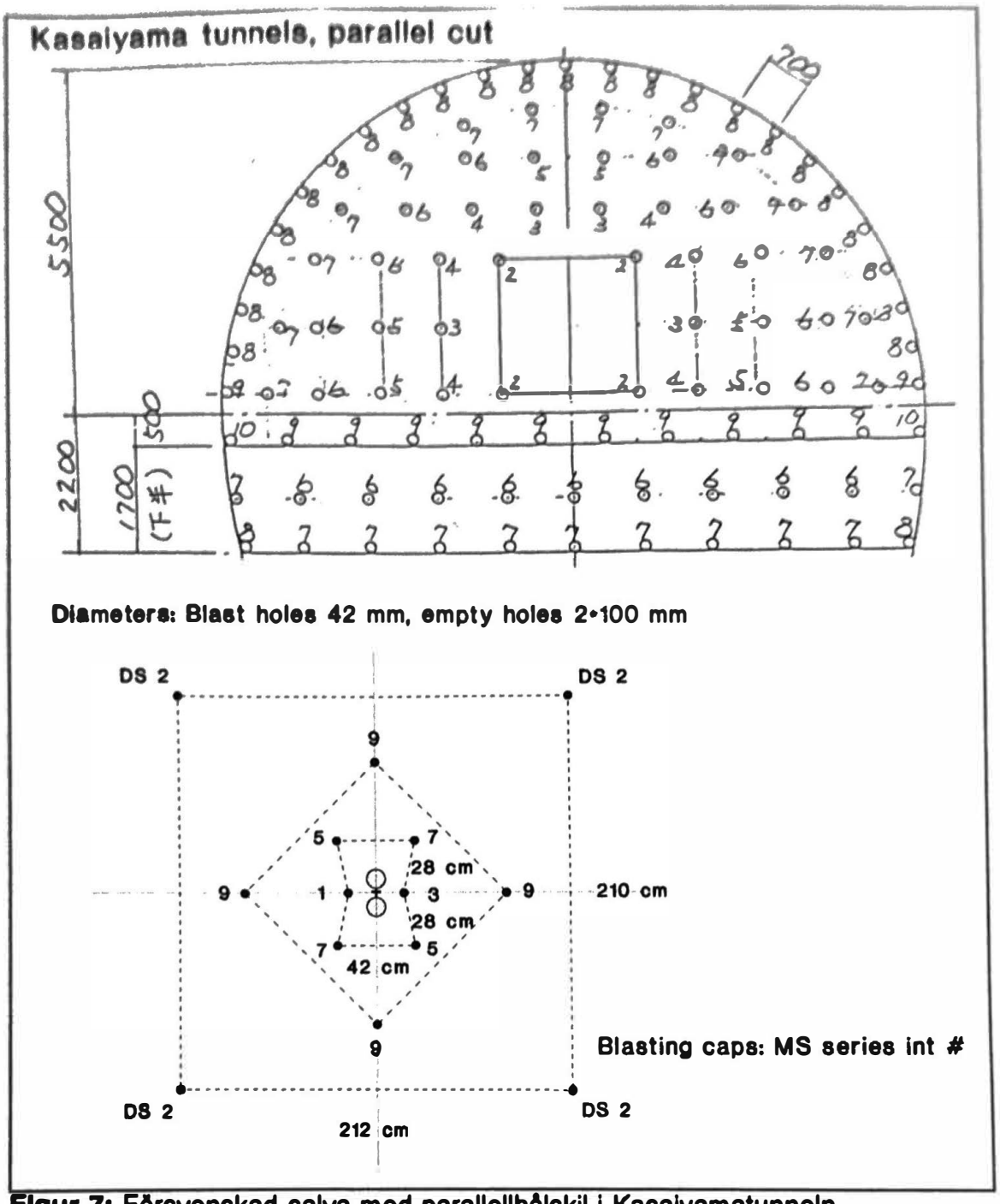


Figur 6: Försvenskad plogkilssalva i Kasaiyamatunneln.

Vad som diskuterades vid vårt besök var en serie och 6 svenska salvor med parallellhålskilar, 2 var med borrdjupen 2,0, 2,5 och 3,0 m. Se figur 7, där kilen har 2 st Ø 100 mm tomhål och 14 st Ø 42 mm språnghål. Dess storlek är 212·210 cm. Upptändningen görs med elektriska MS-kapslar som har fördröjningstiderna 0, 25, 50, 75, 100, 130, 160, 200, 250 och 300 ms osv för intervallnumren 1-10.

I fem av salvorna skulle konturen slätsprängas med 2-3 st Ø 20 mm Chitamite-patroner om 200 g. Hålavståndet var först satt till 0,7-0,8 m mot normalt 0,6 m. Originalförslagen till sprängplaner innehöll ca 15 färre hål än de japanska salvorna.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 7: Försvenskad salva med parallellhålskil i Kasaiyamatunneln.

Dessa sprängplaner diskuterades ingående och förbättrades ytterligare framförallt beträffande hål- och tändsättningen i strossen. I januari sköts 3 sådana salvor med lyckat resultat, full indrift samt mindre kast och lägre bullernivåer än för de vanliga salvorna med plogkilar. Trots detta avbröts försöken i Kasaiyamatunneln därför att produktionen på grund av tidigare problem hamnat för långt efter tidsplanen.

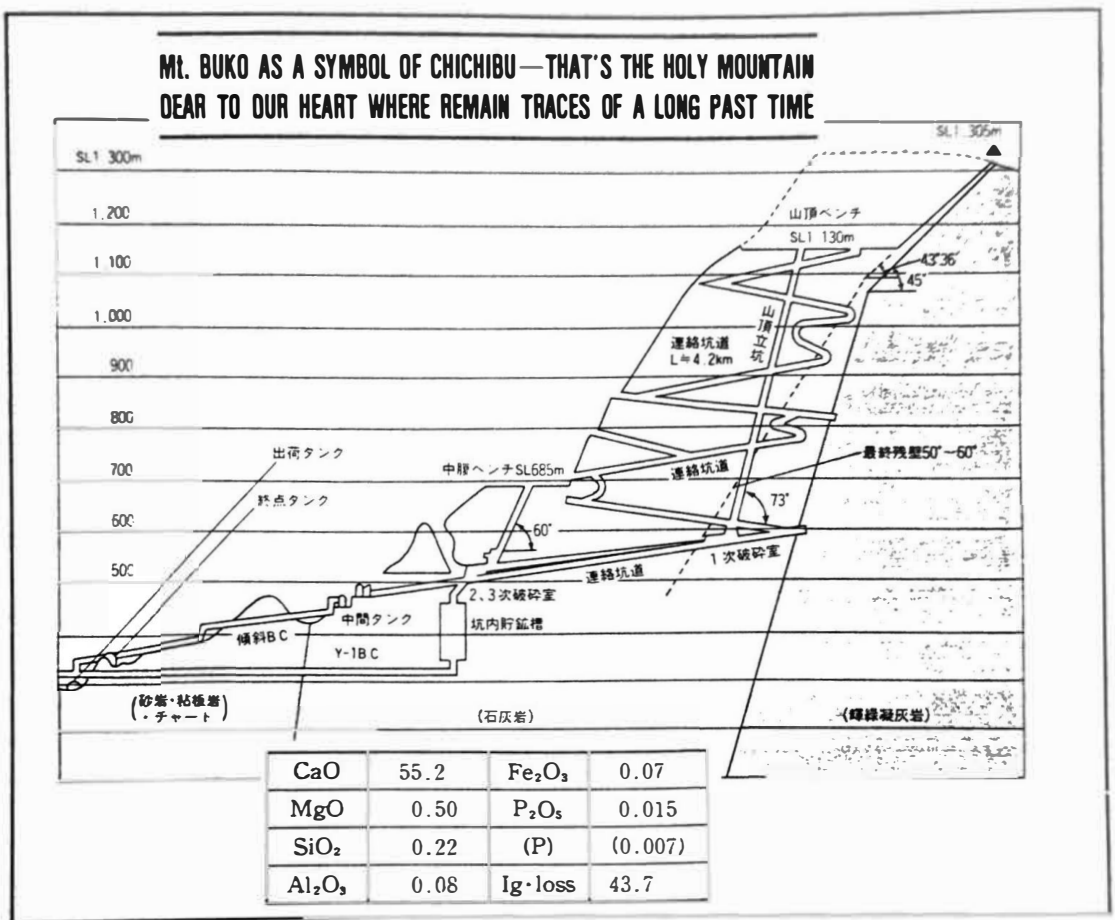
Då Japan är tätbebyggt så utgör buller från sprängningarna ofta ett stort problem. Både i Kasaiyamatunneln och i den närbelägna Fukutomitunneln hade man installerat skyddsbarriärer inuti tunneln nära mynningen. Effektivast var en sandfylld dubbelsektion med dörrar. Vid en punkt 380 m från mynningen kunde bullret därigenom reduceras från ca 80 dB till 50 dB.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

3.3 Försöken med tunnelsprängning i Buko kalkbrott

Planerna på att göra en försöksserie med svenska tunnelsalvor tillsammans med Sato Kogyo fortsatte. Efter en hel del diskussioner kom dessa att utföras i Buko kalkbrott i Saitamaprefekturen väster om Tokyo. Bukoberget, som är 1305 m högt, reser sig brant över omgivande dalarna på 3-400 möh. Det består till hälften av kalk och på 5 olika ställen äter sig brotten sakta ner.

Buko Mining Co:s brott ligger i mitten, på 1130 m. Se figur 8. För att komma dit får man åka i en uppåtgående snedbana inne i berget ca 15 min. Kalkstenen är ca 100 millioner år gammal, har densiteten 2600-2700 kg/m^3, en P-vågshastighet på mellan 2700-4500 m/s, en draghåll-fasthet på 5,3-7,9 MPa och en tryckhållfasthet på 120-125 MPa.



CaO	55.2	Fe_2O_3	0.07
MgO	0.50	P_2O_5	0.015
SiO_2	0.22	(P)	(0.007)
Al_2O_3	0.08	Ig·loss	43.7

Figur 8: Kalkbrottet på Bukoberget vid Chichibu i Saitamaprefekturen.

Pallhöjden i brottet är 10 m, borrhålen Ø 115-125 mm och försättningen 4,5 m. Varje hål laddas ca 8 m med 50 kg sprängämne. Bergets sprängbarhet bedöms genom bergkonstanten vara c = 0,25-0,30 kg/m^3, dvs lättsprängt och någorlunda representativt för japanska förhållanden. Upptändningen görs med Hercudet. Vid skjutning mot slutlig slänt har man använt förspräckning med Ø 75 mm borrhål på 0,9 m avstånd och skjutit 30 hål åt gången.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Försöken skulle först göras i en tunnel som drevs in i en pall för att undvika det sprängskadade berget i ytan. Med hänsyn till den begränsade tiden kom de ändå att utföras direkt i pallytan. Enligt planerna skulle försöken bestå av 3 serier. Den första serien bestod av 41 st 4 m djupa öppningar med varierande håldiameter, kilgeometri och sprängämne, se tabell 1.

		48/48		42/42		25/25		
		102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	
		400±	450	330±	380	300±	350±	
30/45		45/45		42/42		25/45		
102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	
300±	350±	370±	420±	330	330	300	300	
30/45		45/45		48/48		25/45		48/48
102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	48/150±
300±	350	370±	420	400	400	250	250	150±
30/45		45/45		48/48		42/42		48/48
102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	48/130
300	300	370	370	330	330	270	270	130
30/45		45/45		30/45		45/45		48/48
102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	102/50	125/150	48/110
250	250	300	300	250	250	300	300	110

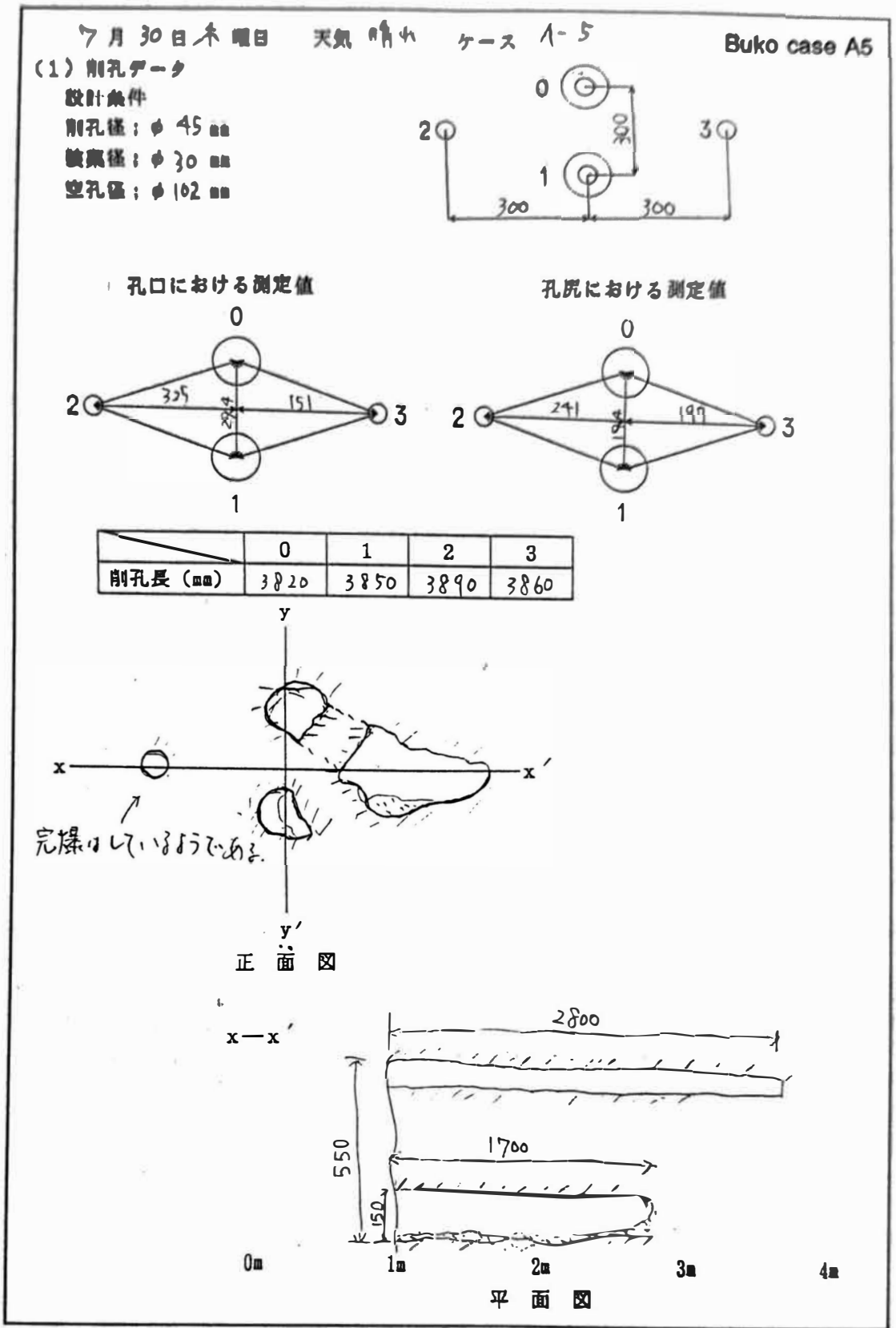
Tabell 1: Preliminär försöksplan för kilskjutningarna i Bukobrottet. Planen visar kilarnas läge på pallytan och varje ruta ger försöksdata för 2 kilar. Den första gemensamma raden för de 2 kilarna, t.ex. 48/48 anger laddnings- respektive håldiametern i mm. Lika siffror betyder ANFO och olika siffror anger patronerad Hamamite, ett emulsionssprängämne. Den andra raden, t.ex. 102/50 anger tomhålsdiametern respektive avståndet mellan tomhålen i mm. Den tredje raden anger avståndet mellan spränghålen och tomhålens förbindelselinje, alltså försättningen A i mm. Försöksserien var avsedd att börja nere i vänstra hörnet och gå uppåt i 9 vertikala rader. Symbolen ± anger att det exakta värdet beror på föregående försöksresultat.

Öppningarna var av två typer. Den första hade två grova tomhål, för det mesta med Ø 102 mm diameter, och två spränghål som sköts med olika intervall. Se figur 9. Den andra hade inga grova tomhål. Syftet med denna serie var att verifiera den formel som Langefors och Kihlström [3] använder för att beräkna nödvändig laddningskoncentration vid uppskjutning mot en cirkulär öppning,

$$l_a = 0{,}55 \cdot (A - Ø/2)/\sin\alpha^{1{,}5}.$$

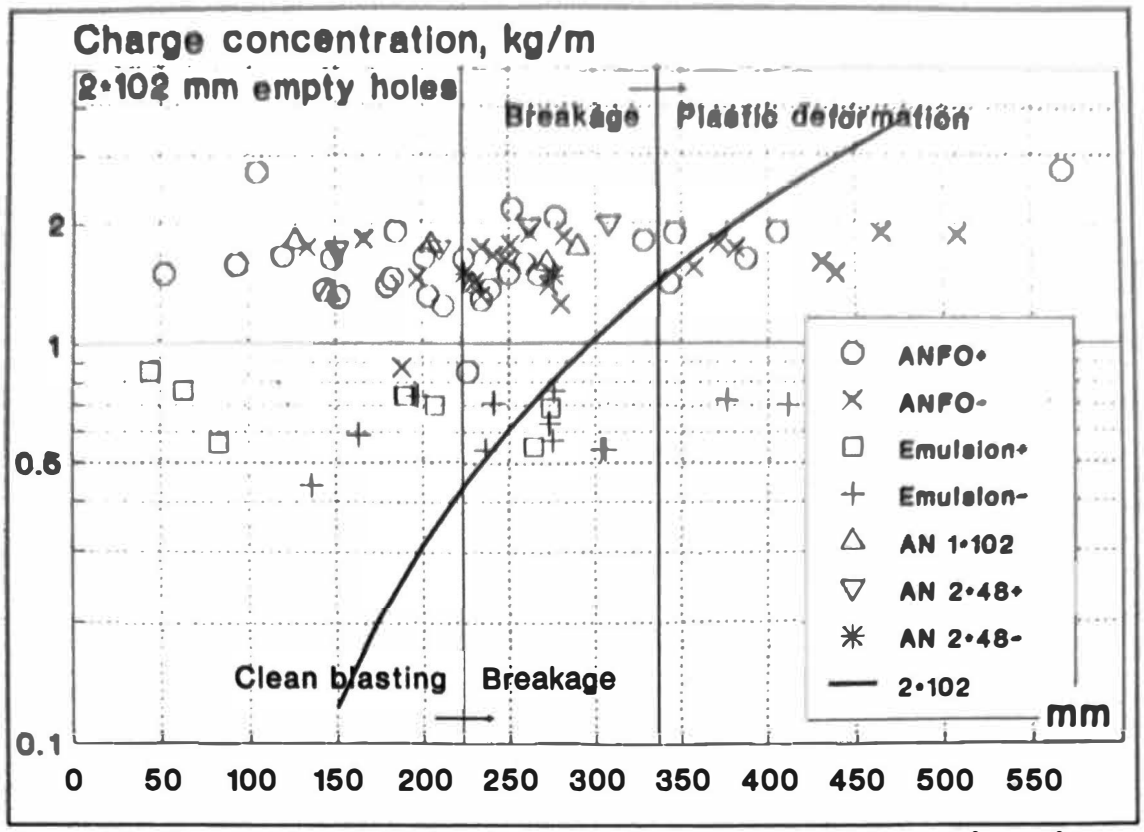
Här är l_a laddningskoncentrationen i kg/m, A avståndet mellan hålcentra och Ø tomhålsdiametern, båda i m, samt 2α skjutvinkeln, se [3] ekv. 7:4 och figur 7:5.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 9: Kil med Ø 30 mm emulsionsladdningar upptänd med Nonel GT/T-kapslar nr 0 (hål 3) och nr 1. Utseendet före sprängning med inmätta avstånd på ytan och i botten samt utseendet efteråt.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 10: Diagram över laddningskoncentrationen som funktion av hålavstånd för Bukokilarna. Symbolen + anger lyckat utslag och - anger fastskjutning.

Uppföljningen bestod av en noggrann kartering av berget och dess strukturer, inmätning av de borrade hålen, begränsad VOD- och vibrationsmätningar under salvan, samt inmätning och fotografering av sprängningsresultaten. I ett par fall mättes även kastet.

Den andra delserien bestod av 6 enhålsuppskjutningar mot öppningar från serie 1 och den tredje av 6 hela kilar som även skulle höghastighetsfilmas.

De praktiska förhållandena gjorde att försöksplanerna fick ändras efter hand. I början gav upptändningen med Hercudet problem men efter byte till Nonel GT/T gick upptändning problemfritt. Vi sköt totalt 45 grovhålsöppningar och 5 utan grovhål mellan den 18 juli och 14 augusti. En preliminär redovisning av skjutresultaten i form av en öppnings utseende efter skjutning och ett diagram över l_a som funktion av hålavståndet A finns i figur 9 och 10. En utvärdering av resultaten pågår som ett samarbete mellan Sato Kogyo och Yamaguchi-universitetet. En engelsk version av den färdiga rapporten kommer att tryckas i SveDeFo:s rapportserie.

3.4 Malkotunneln, en drivning med olika metoder.

Söder om huvudön Honshu ligger ön Shikoku. År 1988 öppnades den första broförbindelsen, Kojima-Sakaide vid Okayama. Se figur 1. Den består av 37 km väg

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

och 32 km järnväg och inkluderar 3 stora hängbroar och 2 snedkabelbroar, den längsta med ett mittspann om 1100 m. Kostnaden för projektet var i 1988 års penningvärde $1{,}2 \cdot 10^{12}$ yen.

Nu pågår arbetet med två fasta förbindelser till, dels Onomichi-Imabariförbindelsen 10 mil västerut och dels Kobe-Narutoförbindelsen ca 10 mil österut. Båda är jätteprojekt. Det senare avslutas i nordändan med en 3,9 km lång hängbro över Akashi Kaikyo, Röda Stenssundet. Mittspannet om 1990 m blir världens längsta när bron står färdig 1998. Vid mitt besök i augusti pågick gjutningen av ankarna, 500000 m^3 betong var, och resningen av ett av tornen.

På fastlandssidan, i Kobe, pågick samtidigt byggandet av en förbindelse mellan bron och en motorväg inne land. Denna skall ha 3+3 filer och består till största delen av en 3,3 km lång tunnel, Maikotunneln, som går under bebyggelse med en täckning på 10-50 m. Se figur 11. Den maximala lutningen är 3%. Geologin består dels av Rokko-granit och dels av mestadels lösa sand och gruslager, Osaka formationen. Tunneln har två sektioner, var och en med drivningsdimensionerna (16-18)·(10-11) m och en färdig area om ca 100-110 m^2. Avståndet mellan sektionerna är typiskt 50 m. Den drivs enligt NATM-principer. Tunneln beräknas vara färdig 1996.

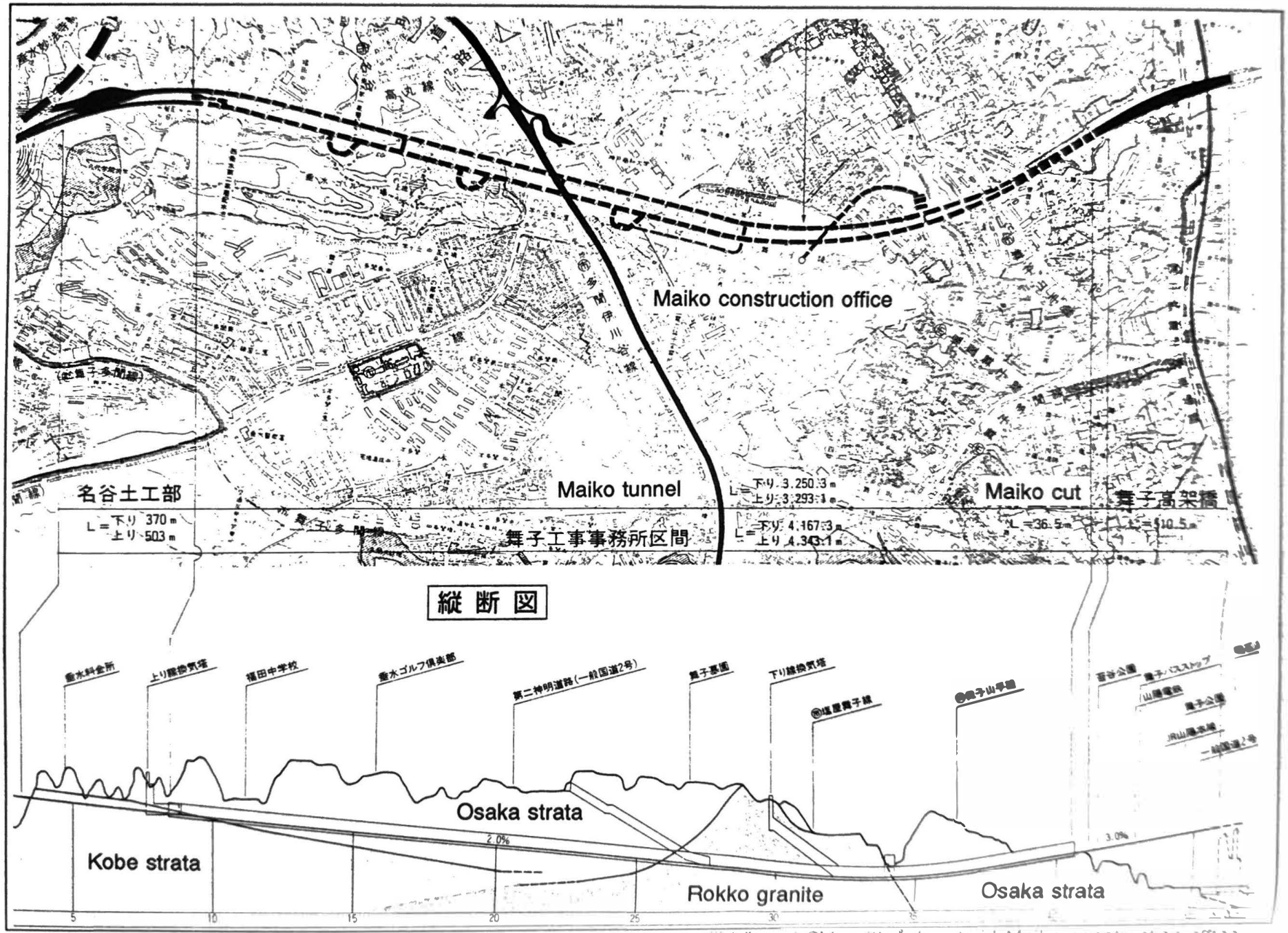
För den 580 m långa granitdelen används TBM-maskiner med Ø 5 m borrhuvud som roterar med 7,5 varv/min. Maxeffekten är 1080 kW och momentet ca 10 MNm. Två TBM-rör borras i varje sektion, se figur 12, och resten av sektionen tas ut antingen med sprängning eller Okumura Co:s metod med slitsborrning i kombination med mekanisk lossbrytning eller sprängning.

Den del av Osakaformationen som ligger norr om graniten ligger under grundvattennivån. Denna tunneldel är 1800 m lång. I den driver man de första 1000 m en pilottunnel med sköldmaskin 3 m under huvudsektionen för att dränera formationen, se figur 13. Maskinen har dimensionerna Ø·L = 3,3·6,5 m och maxkapaciteten 12 cm/min eller ca 110 ton/h. Huvudets rotationshastighet är 1,5 varv/min och maxmomentet 1 MNm, maxeffekten 240 kW. Infodringen görs med färdiga stålsektioner med ventiler genom vilka grundvattnet sedan avsänkes i jämn takt. De sista 800 m ligger pilottunneln inom slutsektionen.

Själva uttaget av huvudsektionen görs sedan med den s.k "Center Diaphragm Method" där en mittskiljevägg utnyttjas av stabilitetsskäl i ett varvat uttags- och förstärkningsarbete, se figur 13. Losshållningen görs med en grävskopa på vars arm monterats ett dubbelt bomfräshuvud, en s.k. "Twin Header Machine".

Dessa tunneldelar drivs från ett gemensamt mittpåslag om 130 m längd som först tagits ut med sprängning eller med slitsborrning i kombination med mekanisk lossbrytning eller sprängning, se figur 14.

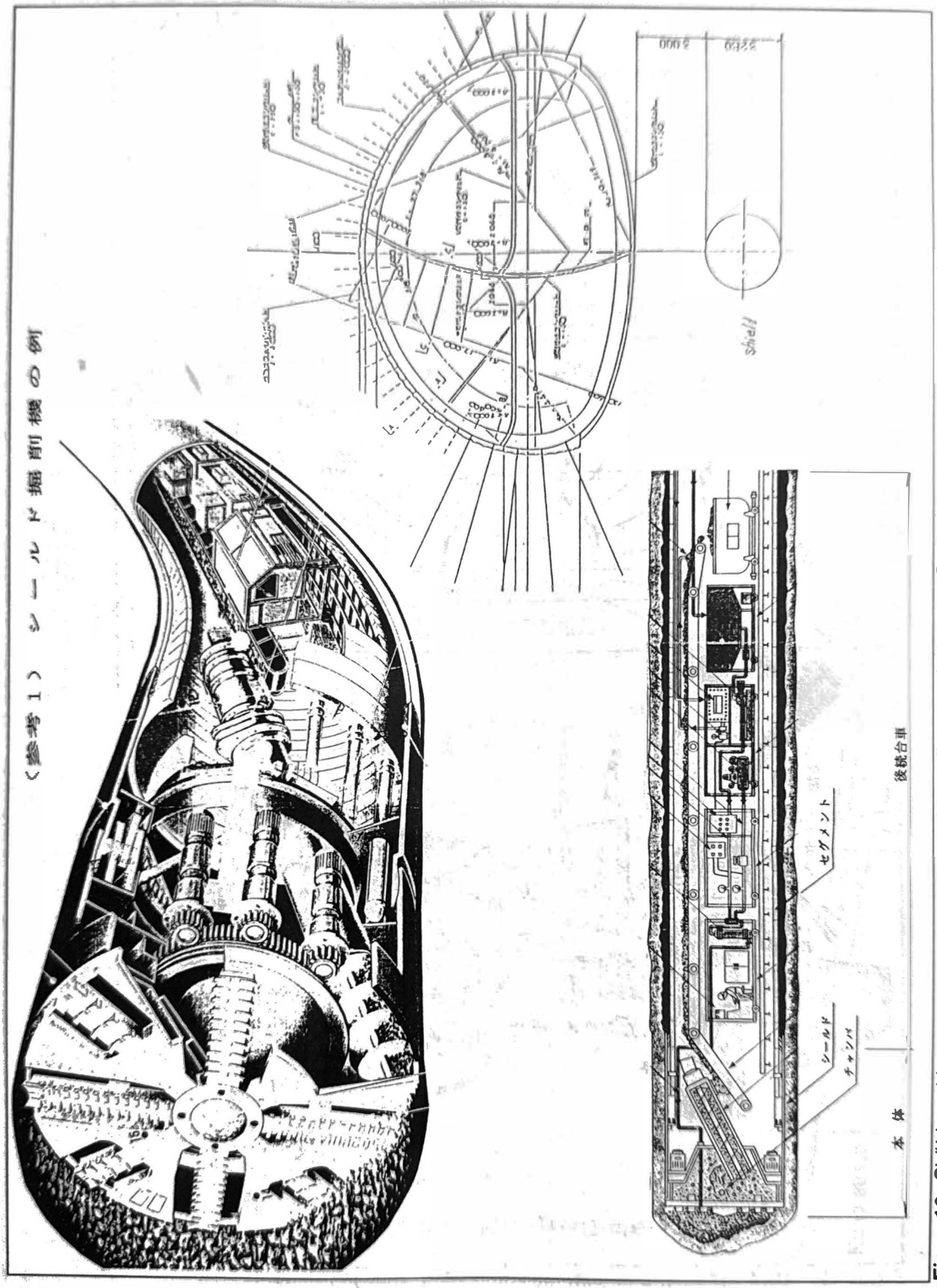
Den del av Osakaformationen som ligger närmast bron, dvs söder om graniten, ligger ovanför grundvattennivån. Från bron räknat drivs en 280 m lång sträcka av tunneln med skärning från ytan. Därefter följer en 330 m lång sträcka som drivs



Figur 11: Maikotunneln och dess geologi. Akashi Kaikyo-sundet ligger till höger i SV. mittpåslaget vid Maiko construction office

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

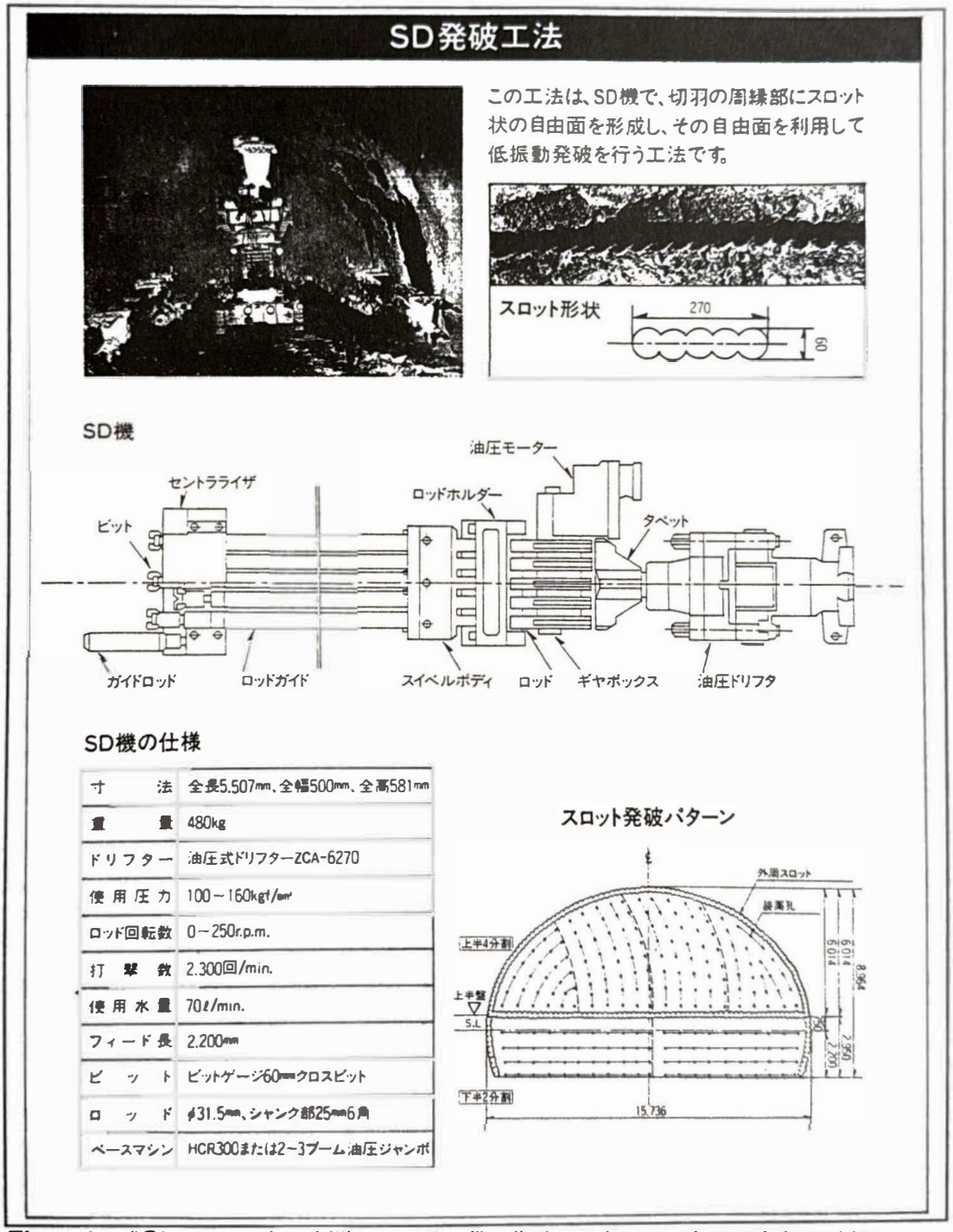


Figur 13: Sköldmaskinen som används för att driva pilottunneln i norra Osakaformationen i Maikotunneln.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I två steg med ett takgalleri och där uttaget görs med den s.k. "Umbrella Method" i vilken en lång skärm av pålar drivits framför stuffen för att stabilisera denna. Därefter följer ytterligare 80 m tunnel som drivs med en skärning från ytan.

Besöket vid Akashi Kaikyo-bron och Maikotunneln imponerade både beträffande storleken av projekten och den flexibilitet i tunneldrivningstekniker som japanerna tvingas använda, och därigenom behärskar, på grund av den komplicerade geologin. Lägg därtill att konstruktionerna måste dimensioneras såväl för vanliga belastningar som för jordbävningar, tyfoner och, i vissa fall, höghastighetståg.



Figur 14: "Okumura slot drilling method", slitsborrning med specialmaskiner.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

3.5 Public Works Research Institute

Under byggnadsministeriet sorterar bl.a. PWRI, the Public Works Research Institute, vars arbetsområde är vittomfattande. Dess vägavdelning har en tunneldivision som ansvarar för utvecklingen av vägtunnlar. Detta innefattar allt från planering och förundersökning, beräkning och byggfasen samt drift och underhåll med ventilation, belysning och säkerhetsfrågor [4].

Enligt dess chef Akira Inokuma är tunneldivisionens nuvarande huvudintresse en automatisering av tunneldrivningen. Detta motiveras dels av bristen på erfarna bergarbetare, dels av den ökande efterfrågan på vägtunnlar vilka merendels sprängs idag. Bland annat planeras en andra motorväg, express way, mellan Tokyo och Osaka. Den kommer enligt planerna att ha 3+3 filer, att gå långa sträckor genom berg och ha tunnlar med upp till 200 m^2 area.

Automatiseringsstudierna bedrivs som ett samarbete med ACTC, Advanced Construction Technology Center, i vilket ett 20-tal företag, entreprenörer, maskin- och sprängämnestillverkare etc ingår. Man riktar in sig på 5 områden

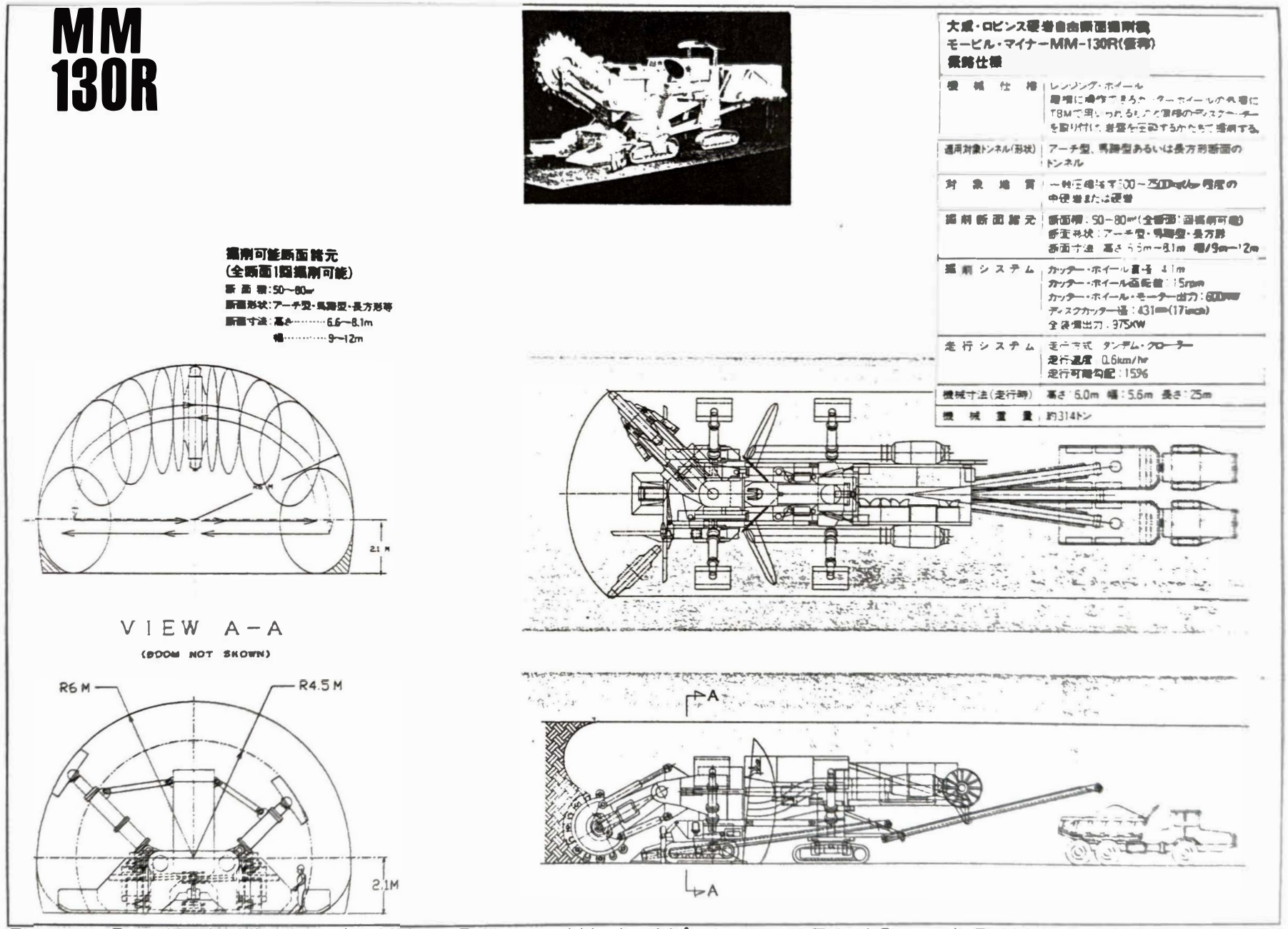
1. Geologiska förundersökningar och data från dessa
2. Utsättning av borrhål
3. Automatiserad borrning
4. Automatiserad laddning
5. Utlastning.

Beträffande utsättningen tänker man sig nu att ha all utrustning på en bil och laserutsättning av hålen. Laddningsarbetet tänker man sig skall utföras från borrningsaggregatet med en specialkonstruerad bom. I dåligt berg så kan borrhålen infodras med en nylonstrumpa.

Man arbetar också med mekaniska bergavverkningsmetoder. Tillsammans med Robbins Co i Seattle håller Taisei Corporation på att ta fram en s.k. Mobile Miner MM-130R som skall vara klar i juli 1993. Se figur 15. Specifikationerna säger att den skall kunna avverka 20 m^3/h i berg med en tryckhållfasthet på 150 MPa. Arbetsområdet är 50-250 MPa.

Skärhuvudet har diametern 4,1 m och är bestyckat med 16 st Ø 432 mm tallriksskär. Det roterar i vertikalplanet med 15 varv/min med en högsta effekten 600 kW. Det sveper fån sida till sida runt en vertikal axel. Härigenom kan tunnelformen bli den vanliga vägtunnelns, och behöver alltså ej vara cirkulär. Avverkningsytan är 50-80 m^2 inom dimensionerna (6,6-8,1)·(9-12) m.

PWRI har genom Inokuma gått ut till medlemsorganisationerna inom ITA med ett frågeformulär om mekaniserad laddning av sprängämnen i tunnelsalvor. Man är öppen för att börja samarbeta med organisationer som bedriver utveckling av tunneldrivning i andra länder.



Figur 15: Den "Mobile Miner" modell MM-130R för tunneldrivning i hårt berg som Taisei Corp och Robbins utvecklar gemensamt.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

3.6 Utveckling av kontursprängningstekniken

Likaväl som i Sverige så har man i Japan tillgång till sprängkapslar med elektronisk fördröjning och metoder att göra anvisningar längs konturhålen i en tunnelsalva. I Sverige har vi ju använt dessa metoder för att visa att det är möjligt att avsevärt förbättra den konventionella kontursprängingstekniken i tunnlar, se Sofiaprojektet.

Asahi Chemical Industry Co har sedan en tid publicerat information om sina elektronikspräng kapslar, [5-6]. Man anger priset till ca 10 gånger det för vanliga kapslar. Under 1991 gjordes provskjutningar med såväl plog- som parallellhålskilar [5]. Under sommaren 1992 sköts 6 tunnelsalvor där elektronikspräng kapslar i konturen jämfördes med vanlig slätsprängning.

Utvärderingen av resultaten var inte helt klar vid mitt besök hos Asahi i september, bl.a. saknades ännu seismiska profiler från tunnelväggarna. Resultaten pekar ändå åt samma håll som Sofiaresultaten, färre sprängskador, fler halvpipor och mindre överberg med elektronikspräng kapslar. Asahi planerar nya konturspräng ningsförsök tillsammans med Nishimatsu Corporation som utvecklat en egen teknik att göra längsgående slitsar i borrhålen.

I ett forskningsprojekt kom jag in i en utvärderings- och rapporteringsfas. Projektet gäller söm- eller slitsborrning som en metod att minska sprängskador och vibrationer från tunnelsalvor. Det har pågått i över fem år som ett samarbete mellan Yamaguchiuniversitetet och Okumura Corporation, ett entreprenadföretag från Osaka. Okumura har utvecklat maskiner för slitsborrning och använt dem såväl vid mekanisk tunneldrivning som vid tunnelsprängning.

Utvärderingen gällde material från drivningen av två tunnlar, en vid Washuzan nära Okayama och en vid Nunobiki i Kobe. Ett resultat av denna är att slitsborrning av tunnelkonturen kan reducera vibrationerna på större avstånd med en femfaktor och att skadorna i konturen blir nästan obefintliga [7].

3.7 Information om svensk bergsprängningsteknik

Under mitt år i Japan fick jag möjlighet att informera om svensk bergsprängningsteknik vid flera tillfällen. Den 6-7 februari höll Japan Society of Civil Engineering (JSCE) i Tokyo sitt 24:e bergmekaniksymposium. Ett par hundra personer deltog. Jag hade skrivit ett bidrag om sprängskademätningarna i rampen till Äspölaboratoriet [8]. Samma material presenterades mera utförligt vid ett tunnelseminarium i Kyoto den 26 februari.

Den 14-15 maj höll Industrial Explosives Society, Japan (IESJ) sitt årsmöte i Tokyo med ca 250 deltagare från industri och universitet. Jag gjorde en utförlig presentation om nyare svensk forskning och utveckling inom tunnelsprängningstekniken [9], baserad främst på arbeten som SveDeFo gjort tillsammans med industriintressenterna [10].

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Den 10 september slutligen så hölls ett seminarium på den svenska ambassaden i Tokyo. Det hade organiserats av Yamaguchi- och Yokohamauniversiteten tillsammans med IESJ och handelshuset Mitsui Bussan. Ämnet var svensk bergsprängningsteknik och ett hundratal ingenjörer och tekniker från japanska entreprenadföretag deltog. Svenska presentationer gjordes av företrädare från Nitro Nobel och Atlas Copco förutom av mig själv. Dessutom talade japanska tekniker från Sato Kogyo och andra om sina erfarenheter.

4. Avslutande synpunkter

Att bo 1 år i Japan är en fantastisk upplevelse. Som västerlänning blir man oerhört väl bemött. Mycket är svårförståeligt men jag har mött en stor öppenhet såväl i kontakterna med kolleger som på det personliga planet. Gamla kontakter som professor Terushige Ogawa vid Yokohamauniversitetet och professor Ikuo Fukuyama, ordförande för IESJ, har ställt upp på ett föredömligt sätt.

Engelskan är värt ett särskilt kapitel. Trots mångårig undervisning så kunde de japanska universitetsstudenter jag mötte varken tala eller förstå talad engelska. Det försvårar undervisningen avsevärt, men omöjliggör den inte. Med kolleger gick kommunikationen bättre fast också den är i allmänhet mödosam. Det japanska språket är besvärligt för en svensk, i synnerhet skriftspråket med sina 3 alfabeten.

Japanerna arbetar i allmänhet oerhört mycket, ca 2200 timmar per år plus en hel del frivillig övertid. Det verkar också finnas gott om folk för olika projekt, jämfört med svenska förhållanden. Japan är dessutom ett relativt utpräglat manssamhälle.

Forskningsresurserna på universiteten verkar vara relativt dåliga och möjligheterna till projektsamarbete med industrin verkar på papperet vara mindre än i Sverige, men den förekommer naturligtvis, se ovanstående beskrivning. Man har emellertid flera stora välutrustade statliga forskningslaboratorier.

Varje större entreprenadföretag med självaktning verkar ha ett eget forskningsinstitut. I början av min vistelse, dvs hösten 1991, verkade framtidsplanerna för byggindustrin vara minst sagt storslagna. Man visade utopiska projektskisser på 1000 m höga torn med hängande städer i 7 plan, elektromagnetiskt drivna uppskjutningsramper för rymdfarkoster osv. Entusiasmen har troligen dämpats något sedan dess.

På ett mera jordnära plan så verkar det finnas ett med svenska mått omättligt behov att bygga ut vägnätet. Medelhastigheten på vanliga vägar kan exempelvis uppskattas till hälften av den svenska. Detta medför många tunnelbyggen. Likaså kommer utbyggnaden av snabbtågslinjerna att kräva många nya tunnlar. Även utbyggnaden av städernas infrastruktur kommer att kräva mycket undermarksarbeten. Det finns resurser och man satsar ibland på ny teknik som knappast skulle vara lönsam i Sverige.

Beträffande bergsprängningstekniken är mitt intryck det att vi i Sverige hunnit

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

längre än japanerna. Det kan vi förhoppningsvis använda såväl till att sälja produkter som Nonel och annan teknik som att byta teknikinformation på jämbördig nivå. I det japanska samhället finns emellertid en mycket stark strävan att lära av andra inbyggd. Man verkar också tänka och agera långsiktigt. Dessutom är troligen antalet ingenjörer per capita avsevärt större än i Sverige. Detta tillsammans med de stora resurserna gör att vårt försprång snabbt kan hämtas in om utvecklingen här hemma avstannar.

Slutligen vill jag rikta ett stort tack till NUTEK som bidrog till min Japanvistelse med ett särskilt anslag och ett lika stort tack till professor Koji Nakagawa och hans kolleger vid Yamaguchiuniversitetet för deras utmärkta stöd under mitt år i Japan.

5. Referenser

1. Selected Research of Yamaguchi Rock Engineering Society, 1986-1987 och 1988-1989 (1988 och 1990). Två vol. Yamaguchi University, Ube, Japan. ISSN 0914-9481.

2. Challenges and Changes, Tunnelling Activities in Japan 1992. Japan Tunnelling Association, Tokyo.

3. Langefors, Ulf och Björn Kihlström (1963). "The Modern Technique of Rock Blasting". Almqvist och Wiksell, Stockholm.

4. Mizutani, T, A Inokuma, K Horiuchi, T Ishimura, S Inano (1991). "Road Tunnel Technology in Japan". PWRI Technical Memorandum No. 3023, PWRI, Tsukuba, Japan. ISSN 0386-5878.

5. Sakamoto, M, M Yamamoto, K Aikou, E Suzuki, H Fukui och K Ichikawa (1989). "A Study on High Accuracy Delay Detonator". Proc. 15th SEE Conference on Explosives and Blasting Techniques, sid 185-200. SEE, Cleveland OH, USA.

6. Tanaka, Y, A Hirata, K Teramoto, T Itijou, K Satou och M Yamamoto (1992). "Examination about Experimental Center Cut Blasting Using EDD". Proc. 24th Symposium on Rock Mechanics sid 390-394, JSCE, Tokyo, Japan. ISSN 0913-4077.

7. Hagimori, Kenji, Michinao Terada, Finn Ouchterlony, Kohei Furukawa och Koji Nakagawa (1993). "Using Slot Drilling to Reduce Vibrations and Damage from Tunnel Blasting in Urban Areas". Bidrag till konferensen 4th International Conference on Rock Fragmentation by Blasting, 5-8 juli, Wien.

8. Ouchterlony, Finn och Koji Nakagawa (1992). "Blasting Damage in the Ramp of the SKB Underground Laboratories at Äspö in Sweden - Verification of Predictions Based on Vibration Measurements". Proc. 24th Symposium on Rock Mechanics sid 395-399, JSCE, Tokyo, Japan. ISSN 0913-4077.

9. Ouchterlony, Finn (1992). "Some Recent Research and Developments in Swedish Tunnel Blasting". Kogyo Kayaku, Journal of the IESJ vol 53 nr 4, sid 165-179.

10. Ouchterlony, Finn (1992). "Some Recent Research and Developments in Swedish Tunnel Blasting". SveDeFo rapport DS 1992:1. 84 sidor.