

SŁAWOMIR DREWNOWSKI, MIKOŁAJ KORZUŃ
WOJCIECH RADOMSKI
Katedra Budowy Mostów
Politechniki Warszawskiej

OBSERWACJE EFEKTÓW IMPULSÓW DYNAMICZNYCH NA MODELACH KONSTRUKCJI

1. Cel badań

Celem omówionych tu badań była obserwacja i zarejestrowanie w czasie kolejności występowania efektów dynamicznych, wywołanych w konstrukcji zniszczeniem pojedynczego jej elementu. Znajomość tego zagadnienia ma duże znaczenie zarówno z punktu widzenia projektowania konstrukcji narażonych na wpływy dynamiczne, jak i z punktu widzenia bezpieczeństwa budowli tego typu.

2. Metoda badań

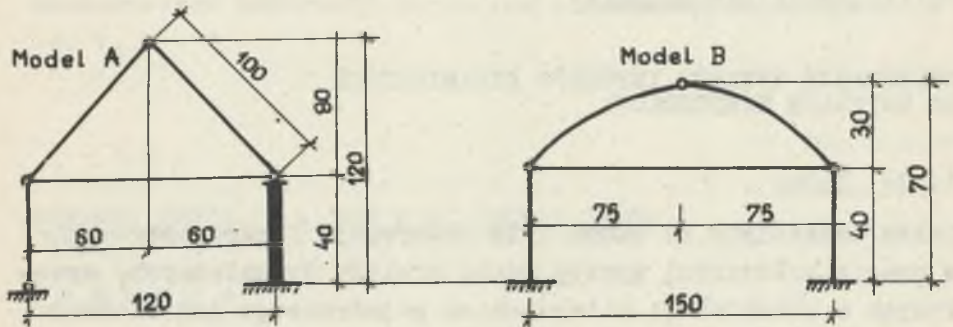
Badania przeprowadzono metodą ultraszybką kinematografii w Wojskowej Akademii Technicznej, gdzie znajduje się odpowiednia aparatura. Maksymalna szybkość filmowania tą aparaturą wynosi około 32 000 zdjęć na sekundę, przy czym w omawianych tu przypadkach zastosowano szybkość przesuwu taśmy równą 500 zdjęć/sek.

Główną zaletą omawianej metody jest to, że oprócz obrazu zachowywania się elementów niszczonej konstrukcji, daje możliwość dokładnego określenia w czasie kolejności występowania zjawisk dynamicznych towarzyszących zniszczeniu.

Uzasadniając słuszność wyboru metody należy zwrócić uwagę na fakt, że przy dużej szybkości zmiany stanu odkształcenia (co ma miejsce przy zniszczeniu), stosowanie czujników mechanicznych lub nawet tensometrów oporowych, nie daje czytelnych i wystarczająco dokładnych wyników, a oprócz tego jest bardziej skomplikowane.

3. Sposób przeprowadzenia badań

Badania przeprowadzono na dwóch modelach, których schematy statyczne i główne wymiary pokazane są na rysunku.



Rys. 1

Modele wykonane były z kształtowników stalowych.

Głównym celem budowy modelu A była obserwacja kolejności efektów zachodzących przy całkowitym zniszczeniu konstrukcji, łącznie z jej upadkiem, model B natomiast służył do obserwacji i zarejestrowania drgań giętnych po zerwaniu ściągu (bez upadku całości konstrukcji).

W obu przypadkach elementem niszczoneym był ściąg, którego zerwanie zrealizowano za pomocą przepalenia prądem elektrycznym (przez cienki drucik oplatający ściąg przepuszczano prąd o dużej mocy).

Filmowanie przeprowadzono w paru seriach, stosując ściągi z różnego materiału (stal, guma, żyłka nylonowa), niszcząc je w różnych przekrojach ($1/2$, $1/4$ i $1/5$ rozpiętości) i przy różnym obciążeniu statycznym modeli.

W celu lepszego zaobserwowania zjawisk zachodzących po zniszczeniu ściągu na ramionach obu modeli ułożono kulki łożyskowe, które wyrzucane były poza modele wskutek wywołanych zaburzeń.

4. Kolejność efektów w czasie

Po przecięciu ściągu na skutek gwałtownego odjęcia siły powstaje fala sprężysta, która przebiega z bardzo dużą prędkością od punktu przecięcia przez poszczególne elementy modelu, aż zanika pod wpływem tłumienia wewnętrznego. Fal sprężystych nie udało się zarejestrować w opisywanych badaniach ze względu na dużą prędkość (dla stali ok. 5 km/sek) oraz stosunkowo małą energię tych fal.

Jednocześnie z przebiegiem fal sprężystych następuje ruch mas ściągu i modelu. Jednakże, z powodu dużych różnic w wielkości tych mas, a tym samym ich przyspieszeń, rozpoczęcie ruchu ściągu zostało zaobserwowane dużo wcześniej aniżeli całego modelu. Ściąg uderzając w węzeł spowodował odbicie kulki, która zawieszona na nitce dotykała węzła oporowego ściągu.

Tablica I

Czas powstawania efektów dynamicznych w sek.

Rodzaj efektu	Ściąg nylonowy siła osiowa w ściągu = 5kG	Ściąg nylonowy siła osiowa w ściągu = 10 kG	Ściąg gumowy siła osiowa w ściągu = 5 kG
Przerwanie ściągu	0,000	0,000	0,000
Przejsie fal wzdłużnych	<0,001	<0,001	nie zarejestrowano
Uderzenie masy ściągu w węzły oporowe	nie było	Lewy odcinek 0,040 Prawy odcinek 0,018	Lewy odcinek 0,016 Prawy odcinek 0,008
Początek ruchu modelu	~0,050	~0,030	~0,034
Upadek modelu na podstawę	~0,285	~0,335	~0,305
Zanikanie (tłumienie) drgań powstałych wskutek upadku	—*)	~0,545	~0,475

Zestawienie kolejności powstawania efektów dynamicznych w czasie w modelu A

*) Nie stwierdzono z przyczyn technicznych.

Tablica II

	Czas powstawania efektów dynamicznych w sek		
	Model B ze ścią- giem stalowym	Model B ze ścią- giem gumowym	
Stadium początkowe	0,000	0,000	
Przejście fal sprę- żystych	0,001	0,001	
Uderzenie masowe ściągu w węzły pod- porowe	0,005	0,007 ^{*)}	0,017 ^{**)}
Drgania giętne ca- łego układu	0,047	0,031	

Zestawienie kolejności powstawania zaburzeń dynamicznych w czasie w badanym modelu B

^{*)}Czas uderzenia masowego krótszego odcinka ściągu

^{**)}Czas uderzenia masowego dłuższego odcinka ściągu.

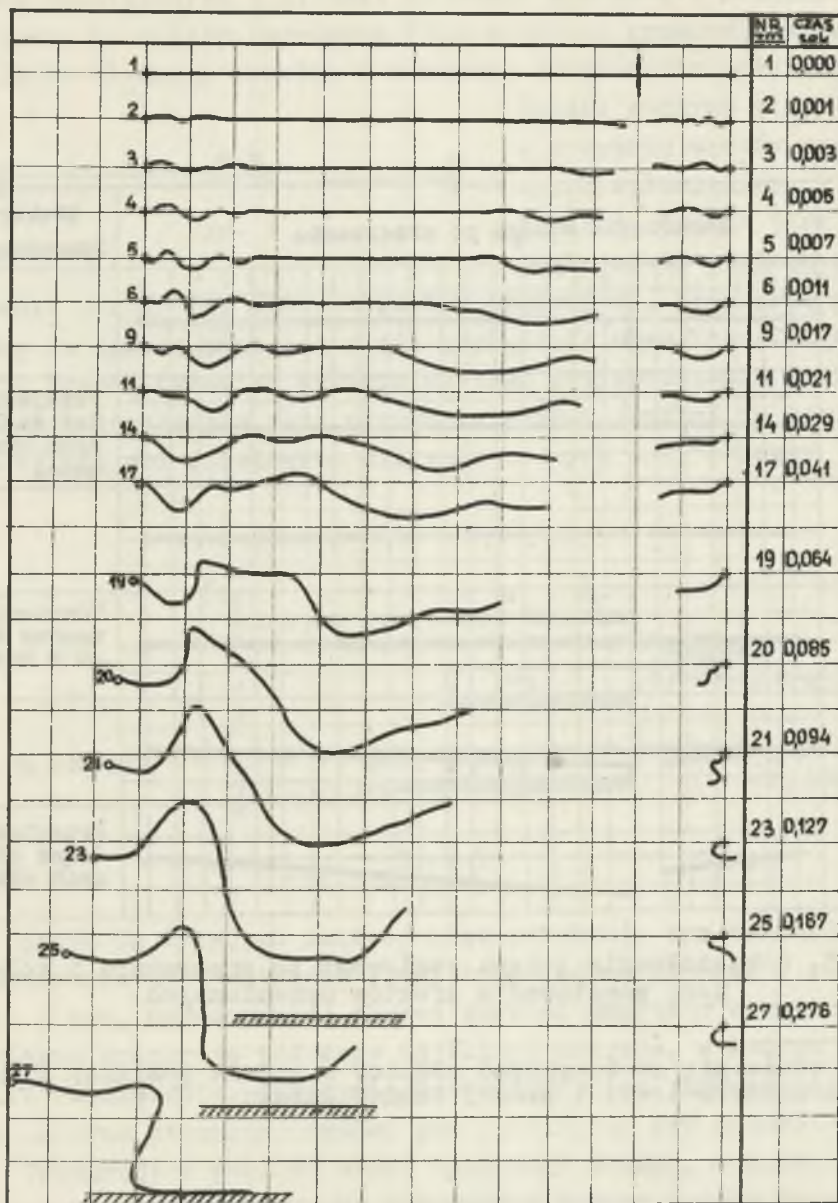
W następnej kolejności stwierdzono ruch modelu i niedługo później ruch obciążającej masy. W modelu B (rys. 1) stwierdzono drgania giętne całego układu po 0,031 sek. Natomiast w modelu A drgania poprzeczne poszczególnych elementów zauważono dopiero po jego upadku (patrz tablica I i II).

5. Zachowanie się ściągów po przecięciu

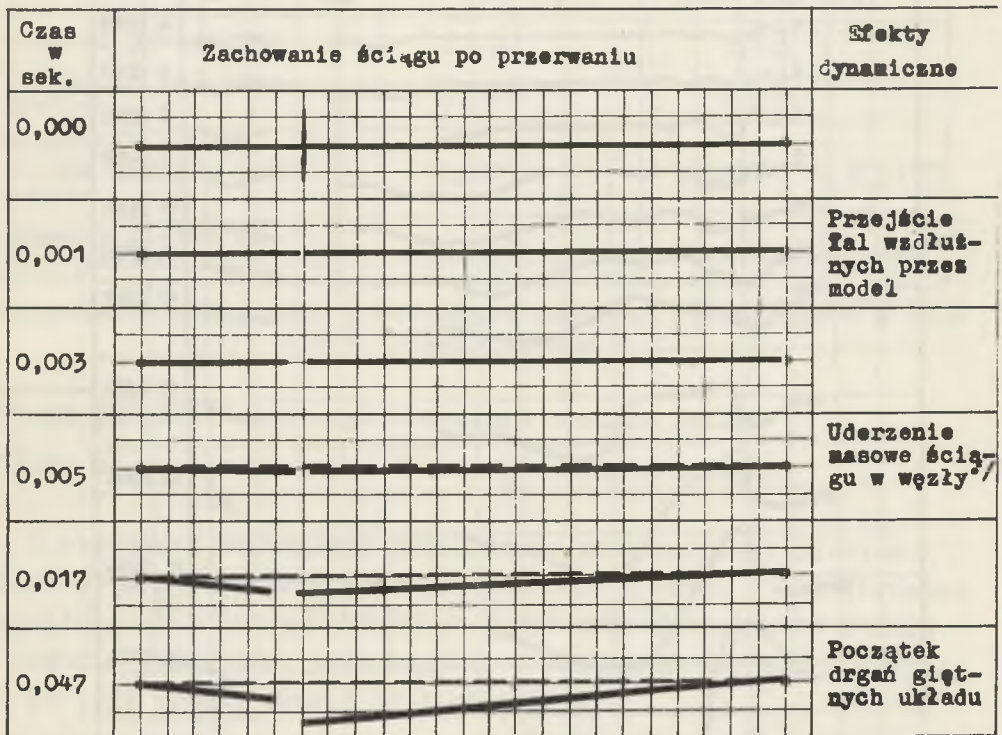
Odkształcanie ściągów po przecięciu przedstawione jest na rysunkach 3 i 5. Ze względu na pewne analogie w ich zachowaniu, zachodzące zjawiska przedstawiamy na przykładzie ściągu nylonowego w modelu B.

W stanie równowagi modelu pod obciążeniem zewnętrznym, zawieszonym w zworniku, w ściągu panuje osiowa siła rozciągająca. Stan ten ilustruje poniższy rysunek 6.

Przerwanie ściągu równoznaczne jest z nagłym odjęciem siły rozciągającej N , zaczepionej w niszczonej przekroju. Z chwilą przerwania, przez ściąg przebiega fala zaburzeń sprężystych



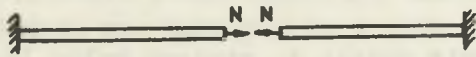
Rys. 3. Zachowanie się ściągu po zerwaniu
 (ściągu nylonowy ϕ 1,07 mm, siła osiowa w ściągu = 4,875 kG)



Rys. 5. Odkształcenia ściągu stalowego po przerwaniu i kolejność powstawania efektów dynamicznych

^{*)} Nie udało się zaobserwować różnicy w czasie pomiędzy uderzeniem masowym lewej i prawej części ściągu

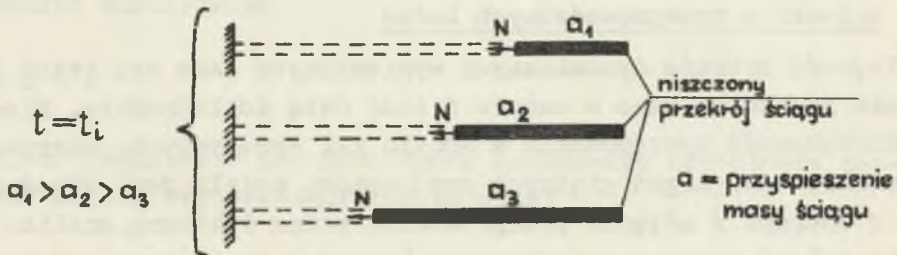
bądź plastycznych (zależnie od stanu naprężenia ściągu). Po dojściu do węzłów oporowych fala zaburzeń przenosi się na pozostałe elementy modelu. W momencie zniszczenia cała masa



Rys. 6

ściągu zaczyna się poruszać w kierunku węzłów oporowych z przyspieszeniem, którego wartość zależy jest od odległości od miejsca zniszczenia

przekroju, którego ruch rozpatrujemy. Przyczyną ruchu masy ściągu są panujące w nim naprężenia wewnętrzne. Zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona wartość przyspieszenia poszczególnych przekrojów jest odwrotnie proporcjonalna do poruszającej się pod działaniem sił wewnętrznych masy ściągu.



Rys. 7

Zatem im dalej od zniszczonego przekroju tym wartość przyspieszenia jest mniejsza (jest to pokazane na rys. 7). Zgodnie z tym, najwcześniej zerową wartość naprężeń wewnętrznych, osiągną przekroje położone najbliżej miejsca, w którym nastąpiło zniszczenie. Następnie swobodny koniec przerwanego ściągu zaczyna stopniowo opadać pod działaniem sił ciężkości.

Przekroje w pobliżu węzła oporowego ściągu, w momencie zniszczenia rozpoczęły ruch. Jednakże z jednej strony natrafiając na węzeł oporowy, z drugiej strony będąc ściskane poruszającą się masą ściągu ulegają wyboczeniu (widoczne na rysunku pofalowanie ściągu w pobliżu węzła oporowego).

Ponieważ masa ściągu nylonowego była bardzo mała w porównaniu do masy modelu, ściągię traktujemy jako element nieważki, nie dający uderzenia masowego.

6. Opis zachowania się kulek

Podczas opadania prawego ramienia modelu A, stalowe kulki leżące w jego górnej części, wyraźnie straciły kontakt z modelem. Kulki leżące w części dolnej przez cały czas opadały spoczywając na poruszającym się ramieniu. Zjawisko to spowodowane było różnymi wartościami przyspieszeń kulek i ich punktów podparcia na modelu. Podobnie stalowe kulki znajdujące się z lewej strony modelu opadały wraz z ramieniem jednocześnie "ślizgając się" po nim ku górze. Następnie straciły kontakt z modelem.

7. Wnioski z przeprowadzonych badań

Kolejność efektów dynamicznych wymienionych jako cel badań została zarejestrowana w czasie z dość dużą dokładnością. Niejednoczesność występowania w modelu fal sprężystych, uderzenia masowego, drgań giętnych oraz upadku modelu jest wyraźna.

W oparciu o zdjęcia przeprowadzić można dokładną analizę odkształceń przerwanego elementu konstrukcji (ściągu). Ściąg gumowy po przerwaniu zachowywał ze znaczną dokładnością kształt prosty, aż do skurczenia obu swych części przy węzłach. Wskazuje to, że w czasie wynoszącym odpowiednio 0,004 sek i 0,010 sek. w lewej i prawej części ściągu występowały jedynie odkształcenia wywołane siłami osiowymi. Udział sił ciężkości w tym czasie był tak minimalny, że nie udało się go zarejestrować. Skurczenie ściągu przy węzłach łuku świadczy o tym, że siły osiowe w nim panujące zmieniają znak; z początkowo rozciągających przechodzą w ściskające. Natomiast w ściągu nylonowym wpływ sił ciężkości na swobodne końce przerwanego ściągu zaobserwowano dużo wcześniej (patrz tablice).

W przypadku modelu o ściągu stalowym pojawienie się sił ciężkości odnotowano najwcześniej. Siły te wystąpiły prawie jednocześnie w obu częściach ściągu po czasie 0,005 sek.

Zginanie łuku i słupów w modelu B dało się dokładnie zaobserwować. Na zdjęciach można zmierzyć amplitudy drgań giętych łuku. Znając również na podstawie zdjęć czas i postać ich występowania można wyznaczyć okresy tych drgań.

Wydaje się wskazane by w celu dokładniejszej rejestracji zaburzeń połączyć metodę kinematograficzną w tensometryczną. Można by wtedy bardziej precyzyjnie uchwycić kolejność zachodzących zjawisk dynamicznych, zwłaszcza jeśli chodzi o przebieg fal sprężystych przez model. W ten sposób na zdjęciach byłoby widoczne zachowanie się konstrukcji pod wpływem zaburzeń dynamicznych jak również ich zapis na oscylografie.

НАБЛЮДЕНИЯ НАД ЭФЕКТАМИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ
НА МОДЕЛЯХ КОНСТРУКЦИЙ

Р е з ю м е

Приведены результаты ультрабыстрого проведения киносъемок разрушений модели строительных конструкций.

OBSERVATIONS OF THE EFFECTS OF DYNAMIC IMPULSES
ON STRUCTURAL MODELS

S u m m a r y

The results of ultra-quick film pictures of destruction in building structures models have been presented.